

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JULIANE CASTRO CARNEIRO

**DINÂMICA SEDIMENTAR DAS BAÍAS DE ANTONINA E PARANAGUÁ  
(PARANÁ, BRASIL) COM BASE NAS TENDÊNCIAS DE TRANSPORTE DE  
SEDIMENTOS**

Pontal do Paraná

2013

JULIANE CASTRO CARNEIRO

**DINÂMICA SEDIMENTAR DAS BAÍAS DE ANTONINA E PARANAGUÁ  
(PARANÁ, BRASIL) COM BASE NAS TENDÊNCIAS DE TRANSPORTE DE  
SEDIMENTOS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Sistemas Costeiros e Oceânicos.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour

Pontal do Paraná

2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE:  
UFPR / SIBI - Biblioteca do Centro de Estudos do Mar

C289d Carneiro, Juliane Castro  
Dinâmica sedimentar das Baías de Antonina e Paranaguá (Paraná, Brasil) com base nas tendências de transporte de sedimentos. / Juliane Castro Carneiro. – Pontal do Paraná, 2013.  
90 f.; 29 cm.

Orientador: Dr. Marcelo Renato Lamour.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

1. Granulometria. 2. Sedimentologia. 3. Redes neurais. 4. Evolução sedimentar. 5. fácies sedimentares I. Título. II. Marcelo Renato Lamour. III. Universidade Federal do Paraná.

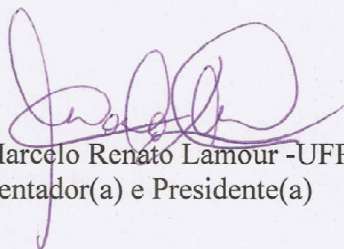
CDD 551.354

*“DINÂMICA SEDIMENTAR DAS BAÍAS DE ANTONINA E  
PARANAGUÁ (PARANÁ, BRASIL) COM BASE NAS TENDÊNCIAS DE  
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS”*

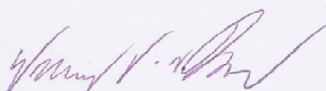
POR

Juliane Castro Carneiro


Dissertação nº 112 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre(a)  
no Curso de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos da  
Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos  
professores:



Dr(a). Marcelo Renato Lamour -UFPR  
Orientador(a) e Presidente(a)

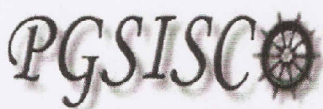


Dr(a). Eduardo Vedor de Paula - UFPR  
Membro Examinador(a)



Dr(a). Josefa Varela Guerra - UERJ  
Membro Examinador(a)

Pontal do Paraná, 12/04/2013.



**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS  
COSTEIRO E OCEÂNICOS**

**Centro de Estudos do Mar - Setor Ciências da Terra - UFPR**  
Avn. Beira-mar, s/nº - Pontal do Sul - Pontal do Paraná - Paraná - Brasil  
Tel. (41) 3511-8644 - Fax (41) 3511-8648 - www.cem.ufpr.br - E-mail: pgsisco@ufpr.br

**TERMO DE APROVAÇÃO**

Juliane Castro Carneiro

**DINÂMICA SEDIMENTAR DAS BAÍAS DE ANTONINA E  
PARANAGUÁ (PARANÁ, BRASIL) COM BASE NAS TENDÊNCIAS  
DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS**

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de  
Mestre(a) em Sistemas Costeiros e Oceânicos, da Universidade Federal do  
Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Dr(a). Marcelo Renato Lamour - UFPR  
Orientador(a) e Presidente(a)

Dr(a). Eduardo Vedor de Paula - UFPR  
Membro Examinador(a)

Dr(a). Josefa Varela Guerra - UERJ  
Membro Examinador(a)

Pontal do Paraná, 12/04/2013.

“Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fiéis  
a nós mesmos”.

Friedrich Nietzsche

## Tempos Modernos

Lulu Santos

Eu vejo a vida  
Melhor no futuro  
Eu vejo isso  
Por cima de um muro  
De hipocrisia  
Que insiste  
Em nos rodear

Eu vejo a vida  
Mais clara e farta  
Repleta de toda  
Satisfação  
Que se tem direito  
Do firmamento ao chão

Eu quero crer  
No amor numa boa  
Que isso valha  
Pra qualquer pessoa  
Que realizar, a força  
Que tem uma paixão

Eu vejo um novo  
Começo de era  
De gente fina  
Elegante e sincera  
Com habilidade  
Pra dizer mais sim  
Do que não, não, não

Hoje o tempo voa amor  
Escorre pelas mãos  
Mesmo sem se sentir  
Não há tempo  
Que volte amor  
Vamos viver tudo  
Que há pra viver  
Vamos nos permitir

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, saúde, sabedoria, sendo o guia para todos os momentos.

Ao meu ídolo, meu avô João Alberto Castro (*in memorium*) e meus avós Fermina e João (*in memorium*).

A toda minha família, meus pais Elisa e Julio e minha vó Thereza.

Ao meu orientador Dr. Marcelo Renato Lamour e a banca examinadora deste trabalho Profa. Dra. Josefa Varela Guerra e Prof. Eduardo Vedor de Paula pela disponibilidade e contribuições que com certeza são muito valiosas. Ao Prof. Eduardo por todo auxílio nunca negado no Arcgis e conversas científicas sempre muito proveitosas.

A CAPES, Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Fundação Boticário e o LOGeo por financiarem este trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos (UFPR) na forma de coordenação, secretários (Jully e Cleyton) por todo apoio e esforço para que este trabalho fosse concluído e por todos os financiamentos a congressos e cursos. Ao CEM e todos os funcionários e professores pela ajuda nunca negada e pelo auxílio no meu crescimento acadêmico, científico e profissional, em especial ao Dr. Eduardo Marone, Dr. Paulo da Cunha Lana, Dr. Maurício de Almeida Noernberg, Dr. Elvo Fassbinder pelo acompanhamento científico ao longo dos 7 anos de trabalho no CEM. Ao Dr. Gerardo Perillo pelo mês intensivo de aprendizado e boas experiências na Argentina, aos Drs. Carlos Lentini e José Eduardo Gonçalves pelo curso e aprendizado em modelagem.

A Ghisi, amiga tão especial, e aos colegas de laboratório que colaboraram com este trabalho pelo apoio, incentivo e ajuda em saídas e no processamento das análises granulométricas.

Aos colegas de turma e em especial as amigas Daiane Faller, Dáphne Souza, Larissa Alves pela amizade e participação concreta para a realização deste trabalho.

Finalmente, um agradecimento geral a todos os amigos e as pessoas que fazem ou fizeram parte da minha vida, as que ajudaram, as que criticaram, as que participaram ativamente e as que apesar de longe, torciam por mim. A todos vocês que ajudaram na minha formação e caráter, muito obrigada.



## SUMÁRIO

PREFÁCIO.....	11
RESUMO .....	11
ABSTRACT .....	12
1.INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2.OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo Geral.....	14
2.2. Objetivos específicos .....	14
3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	14
3.1. Ambiente Estuarino .....	14
4.MATERIAIS E MÉTODOS GERAIS.....	17
5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	19
CAPÍTULO I.....	22
COMPARTIMENTALIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA ESTUARINA A PARTIR DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS NÃO SUPERVISIONADAS .....	22
RESUMO .....	22
ABSTRACT .....	23
1.INTRODUÇÃO.....	23
2.MATERIAIS E MÉTODOS .....	25
2.1. Área de estudo.....	25
2.2. Amostragem e análises granulométricas .....	27
2.3. Mapas auto-organizáveis (SOM) .....	27
3.RESULTADOS .....	30
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	33
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
CAPÍTULO II .....	42
EVOLUÇÃO SEDIMENTAR AO LONGO DO SEGMENTO E-W DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ, SUL DO BRASIL.....	42
RESUMO .....	42
ABSTRACT .....	43
1.INTRODUÇÃO.....	43

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....	44
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	48
4. RESULTADOS .....	50
5. DISCUSSÃO.....	58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62
CAPÍTULO III .....	69
TENDÊNCIAS DE TRANSPORTE SEDIMENTAR AO LONGO DO SEGMENTO E-W DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ.....	69
RESUMO .....	69
ABSTRACT .....	70
1. INTRODUÇÃO.....	70
2. ÁREA DE ESTUDO .....	72
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	75
4. RESULTADOS .....	76
5. DISCUSSÃO.....	82
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	85

## **PREFÁCIO**

A presente dissertação foi estruturada conforme o modelo proposto pelo Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos da Universidade Federal do Paraná. A primeira parte do trabalho é composta por aspectos gerais da introdução, objetivos, fundamentação teórica e métodos. A segunda parte inclui artigos científicos independentes em andamento a serem submetidos, com objetivos específicos e formatação de acordo com periódicos científicos, sendo as figuras e tabelas ao longo do texto para facilitar a leitura.

## **RESUMO**

Estuários funcionam como ambientes deposicionais permanentes, e simultaneamente, como exportadores de sedimentos, suprindo os sistemas adjacentes (as praias e o oceano aberto) com material sedimentar necessário para a estabilidade dos processos físicos naturais. Nesse contexto, o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) está localizado na porção centro-norte do litoral paranaense, com uma área superficial aproximada de 612 km<sup>2</sup>, e com dois eixos principais, denominados de baías das Laranjeiras (N-S) e de Paranaguá (E-W). Possui importância ecológica e econômica, pois há Unidades de Conservação (UCs) e portos implicando em conflitos gerados pelas relações ambientais entre as duas atividades. Nesse sentido, estudos de sedimentologia, evolução e transporte sedimentar se tornam necessários para avaliar os seus efeitos no ambiente estuarino. Os objetivos deste trabalho foram determinar mudanças nos padrões de distribuição granulométrica de curto prazo (45 anos), encontrar fácies sedimentares por redes neurais não supervisionadas e as implicações nas tendências de transporte sedimentar no eixo E-W do CEP. Para tanto, foi realizada a setorização das características granulométricas em diferentes conjuntos de dados (1966, 1995 e 2012) buscando estabelecer uma evolução para as tendências de transporte sedimentar. Este trabalho pretende contribuir para a aquisição de dados ambientais, de forma a fomentar estudos ecológicos e diagnósticos ambientais das UCs de marcas na região, além de

auxiliar no entendimento dos processos atuantes na distribuição sedimentar e preenchimento deste estuário, aporte sedimentar e como tanto as atividades antrópicas (agricultura e dragagens) quanto naturais (geologia, geomorfologia, tipologia de solos, correntes de maré e bacias de drenagem) modificam, em diferentes escalas, os padrões de distribuição sedimentar em estuários.

## **ABSTRACT**

Estuaries act as permanent depositional environment, and simultaneously as sediment exporter, supplying the adjacent systems (beaches and open ocean) with sedimentary material necessary for the stability of the natural physical processes. In this context, the Paranaguá Estuarine Complex (PEC) is located in the central-northern coast of Paraná, with a surface area of approximately 612 km<sup>2</sup>, and with two principal axes, called Bay of Laranjeiras (N-S) and Paranaguá (E-W). It has ecological and economic importance, as there are protected areas and ports resulting in conflicts generated by environmental relationships between the two activities. Accordingly, studies of sedimentology, evolution and sediment transport becomes necessary to evaluate its effects on estuarine environment. The objectives of this study are to determine changes in particle size distribution patterns of short-term (45 years), and their implications for sediment transport trends in the E-W axis of the CEP. Therefore, we performed the particle size characteristics of sectorization in different data sets (1966, 1995 and 2012) seeking to establish a development trends of sediment transport. This work aims to contribute to the acquisition of environmental data, seeking to promote ecological studies and environmental diagnostics of Conservation Units marked in the region, and help to understanding the processes involved in the estuary sediment distribution and filing, sand supply and how human activities (agriculture and dredging) and natural characteristics (geology, soil type, tidal streams and watersheds) change at different scales, the distribution patterns of sediment in estuaries.

## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

O ambiente estuarino funciona como ambiente deposicional permanente, e simultaneamente, como exportador de sedimentos, suprindo os sistemas adjacentes (as

praias e as bacias oceânicas) com material necessário para a estabilidade dos processos físicos naturais (PERILLO, 1995).

Os estuários são feições de transição entre o oceano e o continente, onde ocorre a mistura da água doce do aporte fluvial, junto com sua descarga de material, com a água salgada do mar e as forças oceanográficas da costa adjacente (PRANDLE, 2009). Estão submetidos ao aporte de águas e cargas dos rios e efeitos da pluviosidade, os quais influenciam na circulação, transporte e distribuição de sedimentos e componentes químicos, contribuindo com a estrutura dos ecossistemas costeiros (MOLISANI *et al.*, 2007).

A distribuição granulométrica dos sedimentos fornece informações valiosas sobre as suas origens e as análises desses parâmetros podem ser utilizadas de forma eficaz no estudo de tendências de transporte de sedimentos, deposição e erosão (LIU *et al.*, 2010). Parâmetros estatísticos gerados a partir de análises granulométricas como média, grau de seleção e assimetria vêm sendo utilizados para a determinação da direção de transporte dos sedimentos em um ambiente deposicional (LE ROUX *et al.*, 2002).

Segundo Wright (1995), os processos dinâmicos na zona costeira incluem o balanço de sedimentos no sistema costeiro, o qual apresenta importância tanto ambiental quanto social. Entretanto, esta dinâmica dos sedimentos pode ter alguns problemas, como alterações na morfologia devido à erosão e/ou progradação de praias e costas adjacentes, aumento na turbidez da água e assoreamento de canais navegáveis.

Geralmente os portos, complexos industriais, e conseqüentemente centros urbanos são instalados em estuários. Isso ocorre por este ser um ambiente protegido da ação intensa de ondas, pela navegação costeira e pela indústria pesqueira. Entretanto, junto com esse desenvolvimento de aglomerações urbanas com centros industriais, os níveis de poluição neste ambiente se tornam elevados. Além disso, estes poluentes podem afetar a diversidade ecológica e o uso recreativo deste ambiente costeiro (PRANDLE, 2009).

Nesse contexto é que estão inseridas as Baías de Antonina e Paranaguá, localizadas no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), situado na região sul do Brasil (25°30'S/48°25'W), as quais apresentam importância ecológica, pois várias Unidades de Conservação foram demarcadas na região e no eixo E-W abriga portos públicos e privados paranaenses com atividades de dragagens.

Desta forma, compartimentalização, evolução sedimentar e as tendências de transporte de sedimentos tornam-se necessários na avaliação das mudanças sedimentológicas ao longo do tempo, otimizando operações de dragagens, além de subsidiar estudos de conservação e gerenciamento costeiro.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Determinar mudanças nos padrões de distribuição granulométrica e compartimentalização sedimentológica de curto prazo (45 anos) relacionando com a evolução e tendências de transporte sedimentar, ao longo do segmento E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Identificar padrões e fácies sedimentares de forma a criar uma setorização granulométrica, considerando também teores de matéria orgânica e carbonatos contidos a partir de ferramentas estatísticas;
- Caracterizar a evolução dos parâmetros granulométricos e teores de matéria orgânica e carbonatos contidos pela comparação entre conjuntos de dados históricos (1966 e 1995) e atuais (2012);
- Estabelecer uma evolução para as tendências de transporte sedimentar entre os diferentes conjuntos de dados.

## **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1. Ambiente Estuarino**

Grande parte dos estuários é o produto da inundação de vales fluviais devido à transgressão marinha no Holoceno, que se seguiu ao fim da última grande glaciação há cerca de 18.000 anos (EMERY, 1967; MILLIMAN & EMERY, 1968). A partir de

então, esses sistemas vêm sendo gradativamente preenchidos por sedimentos, processo este favorecido pelas condições de queda relativa do nível do mar e/ou excessivo aporte de sedimentos (REINECK & SINGH, 1980; READING, 1996). Muitos desses estuários encontram-se em avançado estado de colmatção, e por isso são feições consideradas efêmeras no tempo geológico, com um período de poucos milhares de anos (DYER, 1995).

De acordo com Kjerfve (1987), um estuário pode ser definido como um ambiente costeiro que apresenta uma conexão restrita com o oceano, sendo que esta desembocadura permanece aberta pelo menos intermitentemente. Sendo assim, pode ser dividido em três zonas distintas (Fig. 1), sendo levados em consideração também a gênese geológica e os processos regionais que contribuem para a formação desses ambientes:

1) *Zona de Maré do Rio (ZR)* – porção fluvial com salinidade muito próxima a zero, mas ainda sujeita à influência da maré. Embora, nesta região a água seja integralmente de origem fluvial, o movimento é bidirecional devido à ação da maré;

2) *Zona de Mistura (ZM)* – é o estuário propriamente dito, onde ocorre a mistura da água doce oriunda do aporte fluvial com a água do mar, a qual é caracterizada pela convergência dos movimentos unidirecional do fluxo do rio e bidirecional das correntes de marés. Nesta zona há uma acentuada variação vertical e longitudinal da salinidade e das velocidades de correntes no estuário. Ademais, na transição entre a ZR e a ZM há uma região onde a velocidade resultante dos movimentos convergentes é quase nula, concentrando materiais e sedimentos em suspensão de origem fluvial e marinha, formando a chamada *Zona de Máxima Turbidez*. Esse processo promove o aprisionamento dos sedimentos no interior do estuário, impedindo ou retardando a sua saída para a zona costeira. A localização dessa região varia de acordo com vários fatores, dentre eles a intensidade da descarga fluvial da maré;

3) *Zona Costeira (ZC)* – região costeira adjacente que se estende até a *frente* da pluma estuarina, caracterizada por águas mais turvas que a do oceano aberto, que delimita a “Camada Limite Costeira”. O regime de marés e de ondas da ZC condiciona a circulação do sistema estuarino, pois desenvolvem padrões de correntes longitudinais e transversais à desembocadura do estuário, no caso da existência de obstáculos na costa próximos a desembocadura (e. g. recifes, deltas de maré, barras), o transporte litorâneo induzido por ondas pode acumular sedimentos na entrada dificultando ou até mesmo inibindo as trocas de sedimentos entre a ZM e ZC.

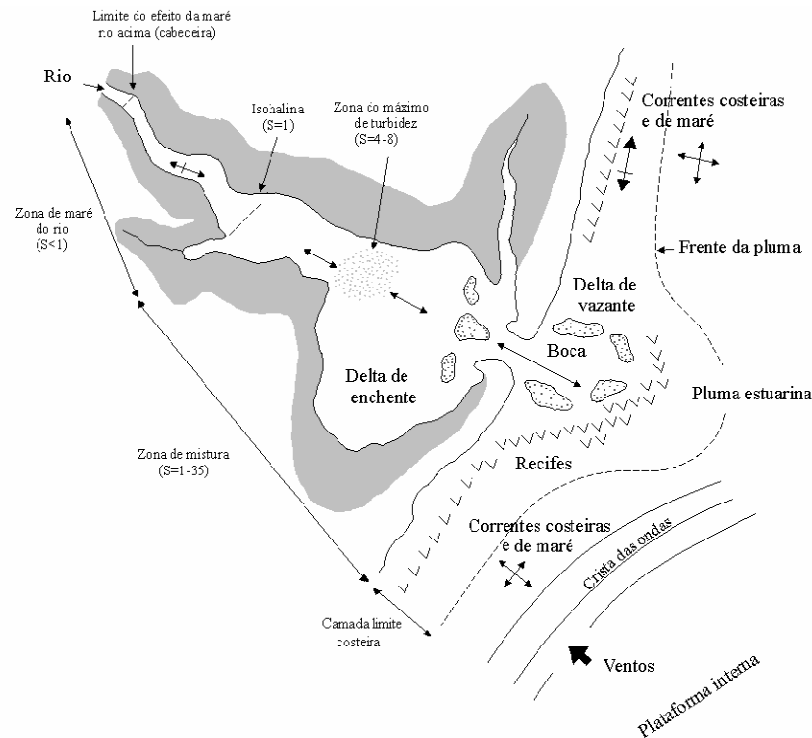


Figura 1- Regiões funcionais de um estuário hipotético. Características geomorfológicas e processos na zona de maré do rio (ZR), zona de mistura (ZM) e zona costeira (ZC) (MIRANDA *et al.*, 2002).

O sistema estuarino atua como bacia de deposição dos materiais oriundos do continente através da descarga do aporte fluvial, e também como exportador de sedimentos para a região costeira. A importação dos sedimentos marinhos pode ocorrer pela ação das correntes de maré para o interior do estuário (DYER, 1995), as quais são relevantes para os processos de troca da salinidade, de erosão, de circulação e de deposição dos sedimentos carregados pelo aporte fluvial. Além disso, a hidrodinâmica estuarina produz mudanças na descarga dos rios, as quais afetam as características do transporte dos sedimentos e outras substâncias orgânicas, bem como as condições de vida da biota (DALRYMPLE *et al.*, 1992).

As características sedimentológicas de um estuário são determinadas principalmente pela(s) área(s) fonte(s) de sedimentos. Os sedimentos de origem continental, transportados pelos rios, são originados dos processos de intemperismo das rochas, erosão e lixiviação do solo. A composição mineral dos sedimentos depende essencialmente da constituição da rocha-mãe, enquanto que a granulometria do material depende principalmente da distância da área fonte e da resistência do mineral ao desgaste provocado pelo atrito durante os processos de transporte (GIANNINI & RICCOMINI, 2000).



O transporte de sedimentos e a contribuição relativa das partículas de origem continental e/ou marinha podem variar em escalas espaciais e temporais, pois estão condicionados aos padrões de aporte de água doce (variabilidades sazonais e interanuais) que afetam diretamente a circulação estuarina (UNCLES *et al.* 1994; UNCLES *et al.* 1998; EYRE *et al.*, 1998; WOLANSKI & SPAGNOL, 2003).

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS GERAIS

O capítulo I está relacionado com o objetivo de setorizar padrões ou fácies sedimentares através de ferramentas estatísticas avançadas (*Self Organizing Maps*; SOM) para os dados atuais de sedimentos de fundo (Fig. 2).

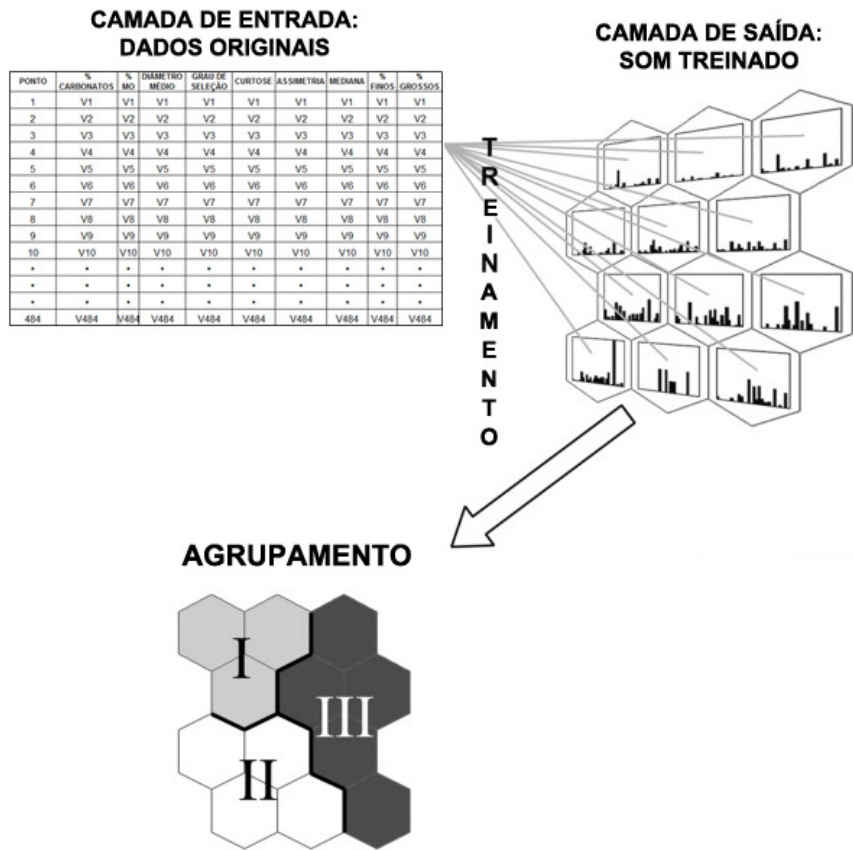


Figura 2 – Desenho esquemático da estrutura da rede *Self Organizing Maps* (SOM).

O capítulo II visa o objetivo de evolução sedimentar através da comparação por geoprocessamento e também por setorização sedimentar nos três conjuntos de dados (1966, 1995 e 2012).

O capítulo III está relacionado com os vetores de tendências de transporte sedimentar para cada um dos três conjuntos de dados. Para a determinação desses vetores foram delimitados padrões e áreas, a partir da setorização, e para as amostras totais. Para tanto, foram utilizados os *softwares* denominados GSTA e GSTAST que determinam a direção e magnitude de vetores de transporte sedimentar, considerando as relações entre as mudanças granulométricas (Fig. 3). O organograma a seguir indica o plano de trabalho geral onde são usados três conjuntos de dados (1966, 1995 e 2012) sendo que os métodos utilizados são explicados com detalhe em cada capítulo

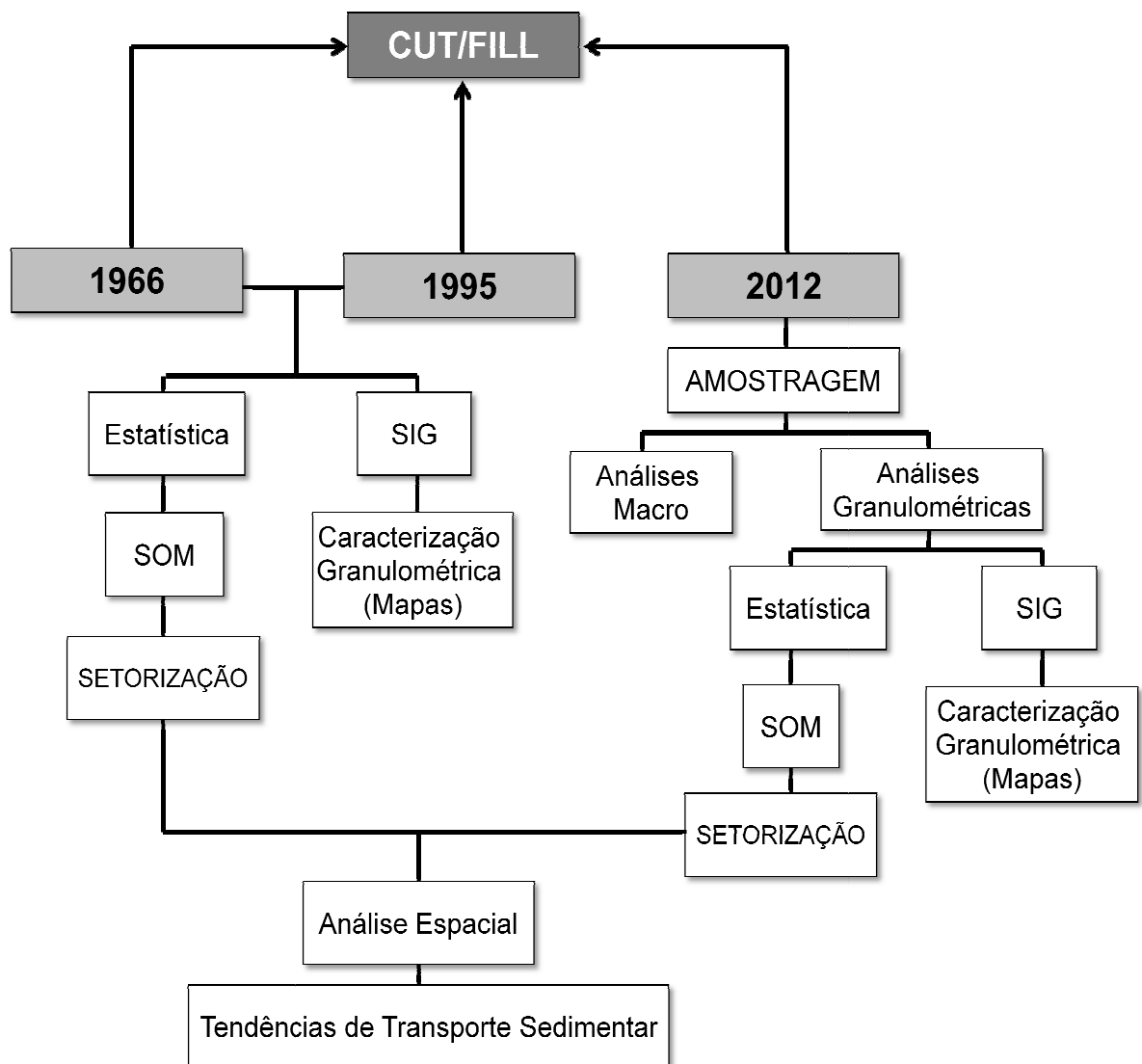


Figura 3– Organograma esquemático do método utilizado no estudo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DALRYMPLE, R. W., ZAITLIN, B. A., BOYD, R. 1992. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications, *Journal of Sedimentary Petrology* 62, 1130–1146.
- DYER, K. R. 1995. *Estuaries: A Physical Introduction*. 2 ed., Chichester, John Wiley & Sons, 195 p.
- EMERY, K. O. 1967. Estuaries and lagoons in relation to continental shelves. In: LAUFF, G.H. (ed). *Estuaries*. Washington, D.C.: American Association for the Advancement of Science (AAAS), n.83, p. 9-11.
- EYRE, B.; HOSSAIN, S.; MCKEE, L. 1998. Suspended sediment budget for the modified subtropical Brisbane River Estuary, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Amsterdam, v.47, p. 513-522.
- GIANNINI, P. C. F. & RICCOMINI, C. 2000. Sedimentos e processos sedimentares. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, p.168-190.
- KJERFVE, B. 1987. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: DAY Jr.; HALL, C.H.A.S.; KEMP, W.M.; YÁNEZ-ARANCIBA, A. (eds.). *Estuarine Ecology*. New York, Wiley, pp.47-78.
- LE ROUX J. P.; O'BRIEN R. D., RIOS F.; CISTERNAS M. 2002. Analysis of sediment transport paths using grain-size parameters. *Computers & Geosciences*, 28:717-721.
- LIU, H.; HE, Q.; WANG, Z.; WELTJE, G. J.; ZHANG, J. 2010. Dynamics and spatial variability of near-bottom sediment Exchange in the Yangtze Estuary, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86: p. 322–330.

MILLIMAN, J. D. & EMERY, K.O. 1968. Sea levels during the past 35,000 years. *Science*, v. 6, 1121-1123.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. 2002. *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo, EDUSP.

MOLISANI, M. M.; KJERFVE, B.; BARRETO, R.; LACERDA, L. D. 2007. Landsea Mercury transport through a modified watershed, SE Brazil. *Water Research*, 41: 1929-1938.

PERILLO, G. M. E. 1995. Geomorphology and sedimentology of Estuaries: an introduction. In: PERILLO, G.M.E (Ed.). *Geomorphology and sedimentology of Estuaries*. The Netherlands: Elsevier Science B.V. p 1-16.

PERILLO, G. M. E. 1995. Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries. In PERILLO, G.M.E. (Ed.). *Geomorphology and sedimentology of Estuaries*. The Netherlands: Elsevier Science B.V. p 17-47.

PRANDLE, D. 2009. *Estuaries: Dynamics, Mixing, Sedimentation and Morphology*. University of Wales. Cambridge. New York. 248 p.

READING, H.G. 1996. *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. 3. ed. Oxford: Blackwell Science, 688 p.

REINECK, H. E. & SINGH, I. B. 1980. *Depositional sedimentary environments*. 2. ed. New York; Springer Verlag, 549 p.

UNCLES, R. J.; BARTON, M. L.; STEPHENS, J. A. 1994. Seasonal variability of fine sediment concentrations in the turbidity maximum region of the Tamar Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, London, v.38, p.19-39.

UNCLES, R. J.; EASTON, A. E.; GRIFFITHS, L. M.; HARRIS, C.; HOWLAND, R. J. M.; KING, R. S.; MORRIS, A. W.; PLUMMER, D.H. 1998. Seasonal variability of

dissolved nutrients in the Humber-Ouse estuary, UK. *Marine Pollution Bulletin*, Great Britain, v.3, p. 206-215.

WOLANSKI, E.; SPAGNOL, S. 2003. Dynamics of the turbidity maximum in King Sound, tropical Western Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Amsterdam, v.56, p. 877-890.

WRIGHT, L. D. 1995. *Morphodynamics of inner continental shelves*. CRC Marine Science, Series. Flórida - EUA. 241 p.

# **CAPÍTULO I**

## **COMPARTIMENTALIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA ESTUARINA A PARTIR DE REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS NÃO SUPERVISIONADAS**

### **SEDIMENTOLOGICAL ESTUARINE PARTITIONING USING UNSUPERVISED ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

**Revista pretendida:** Computers & Geosciences, ISSN (0098-3004), Fator de Impacto (JCR, 2011) = 1.429, Qualis CAPES = Estrato B1.

## **RESUMO**

Os mapas auto-organizáveis (SOM) foram utilizados para investigar os grupos sedimentares ao longo do eixo leste-oeste (E-W) do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). Os resultados obtidos podem auxiliar no entendimento dos processos atuantes na distribuição e preenchimento sedimentar deste estuário. Os SOMs são redes neurais artificiais competitivas não supervisionadas que formam mapeamentos que preservam as mais importantes características dos dados primários, onde amostras com características semelhantes são agrupadas. Após o treinamento, o SOM separou as 484 amostras de sedimentos de fundo em três grupos distintos (1, 2, 3). O grupo 1 foi constituído por areias muito finas, muito pobremente selecionadas, com assimetria muito positiva e curvas mesocúrticas, apresentaram teores médios de carbonatos e matéria orgânica de 6,69% e 6,06% respectivamente. O grupo 2 é formado por areias finas, pobremente selecionadas, com curvas positivas e muito leptocúrticas, teores de carbonatos de 4,44% e 3,65 % de matéria orgânica. O grupo 3 é formado por siltes finas, pobremente selecionados, com assimetria negativa e curtose platicúrtica, apresenta 7,29% de quantificação média de carbonatos e 10,83% de matéria orgânica. Entre os grupos, praticamente todas as variáveis analisadas registraram valores significativamente diferentes (Mann-Whitney), o que demonstra que o SOM é uma ferramenta analítica eficiente para a extração de informações complexas sobre os dados, agrupando amostras semelhantes e distinguindo claramente os grupos formados. Nesse

sentido, o uso de SOM para definir padrões sedimentológicos foi considerado uma ferramenta eficiente e coerente com os dados observados em campo e laboratório.

**Palavras-chave:** Mapas auto-organizáveis (SOM), sedimentos estuarinos, padrões sedimentares.

## **ABSTRACT**

Self-organizing maps (SOM) were used to investigate the sedimentary groups along the east-west (E-W) Estuarine Complex of Paranaguá (ECP). The results may help to understanding the processes involved in the estuarine sedimentary distribution and fill. The unsupervised artificial neural networks SOMs have been competitive process of mappings that preserve the most important features of the primary data, where samples with similar characteristics are grouped. After training, the SOM separated the samples into three groups (1, 2, 3). The group 1 consists in very fine sand, very poorly selected, with very positive asymmetry and mesokurtic curves showed average values of carbonates and organic matter from 6.69% and 6.06% respectively. The group 2 consists in fine sand, poorly selected, with curves and very positive leptokurtic, carbonate content of 4.44% and 3.65% organic matter. The third group consists in fine silts, poorly selected with negative skewness and kurtosis platykurtic, shows values of 7.29 % carbonates and 10.83% of organic matter. Among the groups, almost all variables recorded values significantly different (Mann-Whitney), which demonstrates that the SOM is an effective analytical tool for extracting information about complex data by grouping similar samples and clearly distinguishing the groups formed. In this sense, the use of SOM to define sedimentary patterns was considered an effective tool, consistent with the observed data in the field and laboratory.

**Keywords:** Self-organizing maps; estuarine sediments; sedimentary patterns;

## **1. INTRODUÇÃO**

O ambiente estuarino funciona como ambiente deposicional permanente, e exportador de sedimentos, suprimindo os sistemas adjacentes (as praias e as bacias

66 oceânicas). Estes são influenciados direta ou indiretamente por diferentes fatores, como  
67 parâmetros físicos, geológicos, climáticos e/ou antrópicos e, portanto, podendo diferir  
68 individualmente quanto a sua intensidade local (Perillo, 1995).

69 As características morfológicas e do substrato em estuários são herança das  
70 variações no nível relativo do mar durante o Quaternário, de suas áreas fontes, dos  
71 processos de interação entre o mar aberto e o estuário e, dependendo do caso, do  
72 tectonismo. A natureza e a distribuição dos sedimentos de fundo nos estuários têm  
73 importante papel em diversas áreas, como no planejamento de canais de acesso a portos,  
74 terminais portuários, marinas, dragagens e áreas de disposição, ou para compor o  
75 substrato necessário para a biota existente nestas regiões (Lamour et al., 2004).

76 O uso da granulometria e sedimentologia como ferramentas na caracterização do  
77 substrato tem auxiliado no propósito de interpretar os ambientes de sedimentação (Folk  
78 e Ward, 1957). No mesmo sentido, os sedimentos superficiais de ambientes  
79 subaquáticos refletem a interação entre a energia hidrodinâmica do ambiente, o aporte  
80 sedimentar e a natureza do substrato. Constituindo, portanto, uma informação  
81 importante para a compreensão dos processos de sedimentação e identificação de  
82 padrões e fácies sedimentares.

83 Nesse contexto, diversas técnicas podem ser utilizadas na análise de ambientes  
84 naturais, entre elas os modelos matemáticos e simulações que segundo Cortes (2000),  
85 mostrou serem ferramentas eficientes para se obter conhecimento sobre os processos  
86 atuantes. Entre as técnicas mais utilizadas para a identificação dos padrões ambientais,  
87 as redes neurais artificiais (RNAs) têm sido aplicadas com sucesso, principalmente por  
88 apresentarem processamento que trabalha com grandes quantidades de dados na  
89 interpretação de fenômenos complexos e não-lineares (Dawson e Wilby, 2001).

90 A modelagem usando RNA, tais os como mapas auto-organizáveis (*Self*  
91 *Organizing Maps*; SOM) (Kohonen, 1995) é aplicada como uma ferramenta alternativa  
92 para técnicas estatísticas multivariadas clássicas. Os SOMs são redes competitivas não-  
93 supervisionadas, que recebem um número de diferentes padrões de entrada, descobrem  
94 características significativas nestes padrões e aprendem a classificar os dados de entrada  
95 em categorias apropriadas. No geral, baseia-se nas semelhanças entre as amostras  
96 oferecidas à rede, formando assim mapeamentos que preservam as mais importantes  
97 características dos dados primários. Entre os usos do SOM, se destacam a análise de  
98 problemas geo-ambientais (Götz e Lauer, 2003; Ersoya et al., 2007; Alvarez-Guerra et  
99 al., 2008), o estudo de velocidades sísmicas para a identificação litológica (Tselentis et



al., 2007), a identificação de padrões ambientais (Choi et al., 2009) e as fontes de contaminação antrópica (Marengo et al., 2006), para construções *offshore* e investigar a distribuição e inter-relações das propriedades sedimentares em testemunhos (Ferentinou et al, 2012) sendo muito pouco usado em estudos de sedimentologia.

Neste sentido, os mapas auto-organizáveis (SOM) foram utilizados para identificar os grupos sedimentares ao longo do segmento E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), com o intuito de investigar este método. O objetivo deste trabalho foi a utilização dessa ferramenta estatística, amplamente usada atualmente para diversos fins, também na compartimentalização sedimentológica, avaliando sua aplicabilidade na identificação de fácies sedimentares estuarinas e com o foco voltado para as tendências de transporte que devem analisar amostras contemporâneas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

O litoral do Paraná é caracterizado por sua pequena extensão de costa com características oceânicas e por dois estuários bem desenvolvidos. Ao sul se localiza a baía de Guaratuba (50 km<sup>2</sup>) que apresenta um perfil de uso voltado ao lazer e a pesca artesanal, com áreas rasas arenosas dispostas em sua desembocadura como parte de um delta de maré vazante. Na porção centro-norte está o Complexo Estuarino de Paranaguá (Fig. 1), com uma área superficial aproximada de 612 km<sup>2</sup> (Lana et al., 2000), onde podem ser observados dois segmentos principais. Na orientação N-S estão dispostas as baías das Laranjeiras e de Guaraqueçaba, com um perfil de uso semelhante ao da baía de Guaratuba. No eixo E-W as baías de Paranaguá e Antonina, onde além das atividades de lazer e pesca artesanal são desenvolvidas atividades portuárias.

O sistema de baías Antonina - Paranaguá (Fig.1) tem área de 258,4 km<sup>2</sup>, com um volume de  $1,4 \times 10^9$  m<sup>3</sup>, e extensão longitudinal de 55 km. A circulação das águas em ambas é regida pelas correntes de marés com influência sazonal do aporte fluvial (Knoppers et al., 1987), com uma descarga de água doce de aproximadamente de 178 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> no período chuvoso (verão austral) e de 47 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> no período seco (inverno austral) (Mantovanelli, 1999).

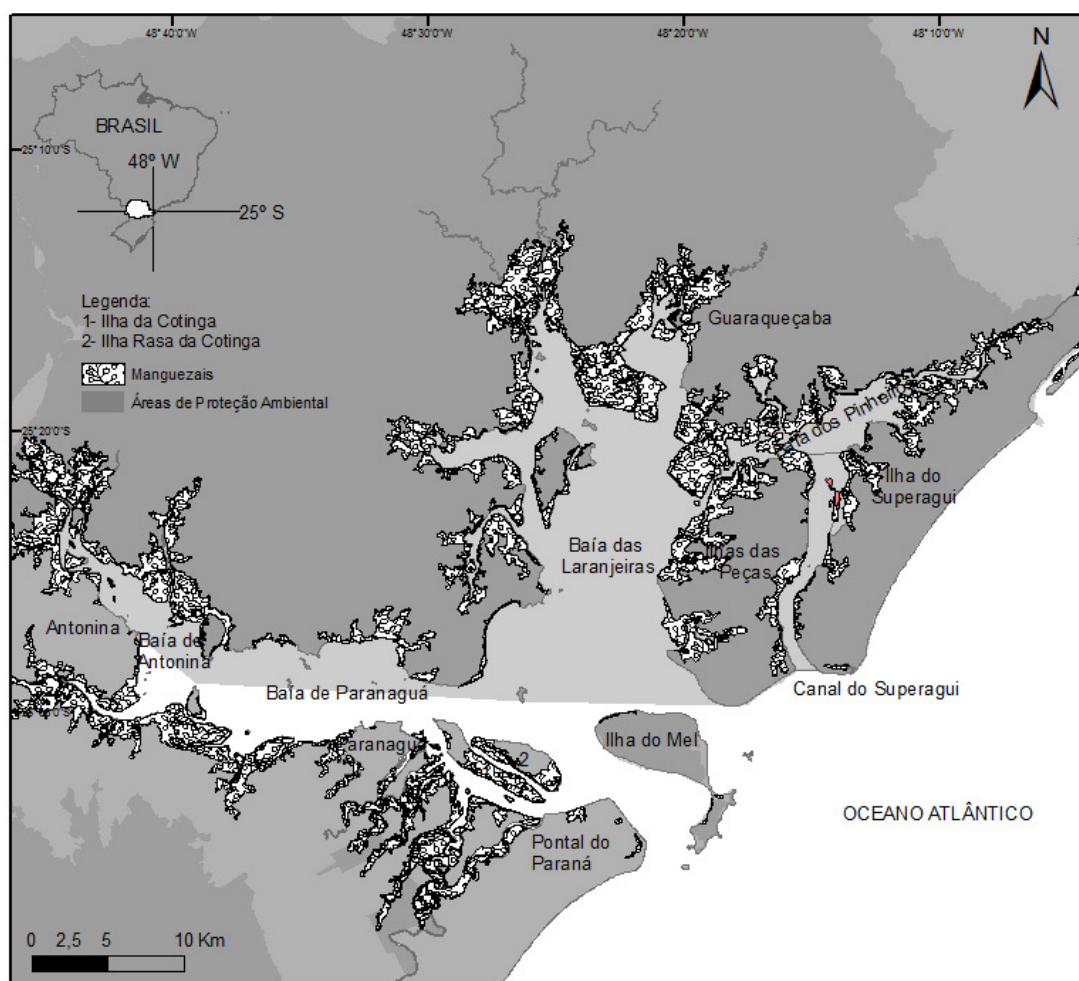


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo do CEP com as Baías de Antonina e Paranaguá. (segmento E-W).

O CEP é classificado como um sistema estuarino parcialmente misturado do tipo B, com heterogeneidades laterais. Em estuários deste tipo, normalmente rasos, a salinidade aumenta de montante para jusante em todas as profundidades (Marone et al., 2005). A maré apresenta regime semidiurno, sendo a variação média da altura da maré de 1,74 m em períodos de sizígia e 1,30 m em quadratura na região da desembocadura (Ilha da Galheta) e respectivamente de 2,09 m e 1,70 m na porção mediana do estuário (na região da cidade de Paranaguá); e de 2,70 m e 2,00 m na porção superior do estuário, próximo à cidade de Antonina (Marone et al., 2005).

Os máximos nas velocidades de corrente de maré podem alcançar os  $100 \text{ cm.s}^{-1}$ , como na região de desembocadura do CEP. Estas correntes podem afetar o transporte de sedimentos, formando ondas de areia com mais de 2 m de altura, com cristas lineares e transversais às correntes de maré (Lamour e Soares, 2007).

Cattani e Lamour (2013) realizaram a integração de dados espaciais para um estudo geomorfológico das baías de Antonina e Paranaguá com 318 amostras de sedimentos de fundo. Na ocasião, também foram separados em 3 grupos sedimentares com o auxílio de uma análise de agrupamento (*Cluster Analysis*), sendo que os grupos sedimentológicos não apresentaram uma distribuição uniforme ao longo do estuário, com poucas áreas passíveis de delimitar um padrão de distribuição. Neste contexto, o grupo 1 foi associado a margem N do estuário na região da baía de Paranaguá, o grupo 2 na margem sul e o grupo 3 foi mais heterogêneo que os demais em relação ao diâmetro médio.

## **2.2. Amostragem e análises granulométricas**

Os trabalhos de campo consistiram na aquisição de 484 amostras de sedimentos de fundo ao longo do segmento E-W do CEP no ano de 2012, distribuídas em uma malha amostral regular. Em média 200 g de sedimentos de fundo foram obtidos por um amostrador *Petite Ponar*.

As respectivas análises granulométricas foram realizadas pelas técnicas de pipetagem seguindo a Lei de Stokes (Carver, 1971) para sedimentos finos (siltes + argilas) e peneiramento para sedimentos grossos (areias). Em paralelo, foram determinadas as porcentagens de matéria orgânica e carbonatos contidos, pelo ataque químico com peróxido de hidrogênio e ácido clorídrico respectivamente e análise macroscópica das amostras observando a presença de carapaças, fragmentos de conchas e vegetais.

Os parâmetros estatísticos granulométricos (diâmetro médio, grau de seleção, assimetria e curtose) foram calculados com o auxílio do *software* Sysgran, pelo método de Folk e Ward (1957).

## **2.3. Mapas auto-organizáveis (SOM)**

Os procedimentos necessários para aplicar o SOM podem ser divididos em três etapas distintas: a padronização dos dados, a formação do SOM e a extração da informação após o treinamento. Os dados foram escalonados entre 0 e 1, garantindo assim uma homogeneidade de pesos entre as variáveis. A estrutura típica consistiu em

duas camadas: uma de entrada e uma de Kohonen ou de saída, relacionadas por intensidades de conexão  $w_{ij}$  (pesos).

A camada de entrada foi formada por neurônios  $j$  que receberam informações para cada variável (diâmetro médio de grão, graus de seleção, mediana, assimetria e curtose; porcentagens de sedimentos finos, grossos, matéria orgânica e carbonatos contidos) a partir da matriz de dados. Cada amostra foi representada por um vetor  $x_i$ , que quando enviado através da rede, cada neurônio  $j$  calculou a distância  $d_j(t)$  entre o vetor de pesos  $w_{ij}(t)$  e o vetor de entrada  $x_i$ . Os pesos foram inicializados com valores baixos e aleatórios, mudando adaptativamente a cada interação no tempo  $t$ . Durante o treinamento os pesos foram calculados usando uma medida de distância Euclidiana, que seguiu a equação (1):

$$d_j(t) = \sum_{i=0}^{n-1} (x_i - w_{ij}(t))^2 \quad (1)$$

A camada de saída foi composta por neurônios  $D_j$ , que funcionaram como locais virtuais retornando um padrão, onde amostras que possuem semelhanças ficaram próximas no mapa representativo. Os neurônios de saída normalmente foram organizados em uma grade bidimensional para melhor visualização.

A premissa seguida foi a que entre os neurônios da camada  $D$ , o que respondeu no máximo a um vetor de entrada que foi o escolhido como a unidade de correspondência (BMU, *Best Matching Unit*). Durante o aprendizado, este neurônio vencedor e seus vizinhos foram atualizados para reproduzirem o padrão de entrada, reduzindo a distância entre o peso e o vetor de entrada (2):

$$w_{ij}(t + 1) = w_{ij}(t) + \eta(t)(x_i - w_{ij}(t))Z_j \quad (2)$$

onde para  $Z_j$  é atribuído o valor 1 aos neurônios vencedores (e seus vizinhos) enquanto que os demais neurônios (não-ativados) recebem 0, e  $\eta(t)$  denota o incremento fracionário da correção. O raio da vizinhança foi definido com um valor maior no início do processo de formação e então, gradualmente reduzido à medida que se aproximou da

convergência. Como função de vizinhança utilizada foi a Gaussiana (Kohonen, 2001) (3):

$$N_{j^*j}(t) = e^{-\frac{\|r_{j^*} - r_j\|^2}{2\delta^2(t)}} \quad (3)$$

sendo  $N_{j^*j}(t)$  a função de vizinhança da BMU ( $j^*$ ) na interação  $t$ ;  $\delta(t)$  o raio da vizinhança na interação  $t$ ; e  $\|r_{j^*} - r_j\|$  é a distância entre os neurônios  $j^*$  e  $j$  na grade do mapa.

A seleção do tamanho do mapa foi realizada adotando o procedimento descrito por Park et al. (2003), onde a rede foi treinada com tamanhos diferentes de mapa e o tamanho ideal foi determinado com base nos valores mínimos de erros de quantização e topográfico.

A resolução do mapa foi utilizada para medir o erro de quantização que é a distância média entre cada vetor de entrada e sua BMU como descrito por Kohonen (2001). O tamanho ideal foi assim determinado em 96 neurônios, corroborando com a regra eurística sugerida por Vesanto et al. (2000) que relataram que o número ótimo de unidades de saída está próximo à  $5\sqrt{n}$ , onde  $n$  corresponde ao número de amostras utilizadas no treinamento da rede.

A identificação dos grupos formados pelo SOM foi realizada de duas maneiras distintas. Em um primeiro momento, os grupos foram identificados através da análise visual dos resultados. A U-matriz analisada é uma representação do SOM utilizando Distância Euclidiana entre um neurônio e seus vizinhos, representando os dados de um espaço de alta dimensionalidade em uma imagem 2D (Ultsch e Siemon, 1990). Em um segundo momento, os dados foram analisados utilizando uma análise em dendrograma pela ligação de Ward e Distância Euclidiana (Ward, 1963).

A identificação de diferenças significativas para as variáveis entre os grupos formados pelo SOM foi realizada através do teste não paramétrico de Mann-Whitney, onde os grupos foram comparados par a par. Devido às múltiplas comparações realizadas, o nível crítico foi fixado em 1% ( $\alpha = 0,01$ ), buscando minimizar a ocorrência do erro tipo 1, onde são encontradas diferenças em amostras semelhantes. Para identificar a colinearidade entre as variáveis foi realizada a Correlação de Pearson, onde

valores de  $r$  acima de 0,75 (positivo e negativo) foram considerados para identificar a correlação entre as variáveis sedimentológicas.

Para o desenvolvimento dos SOMs foi utilizado o SOM Toolbox (Vesanto et al., 1999) no software MATLAB (The Mathworks, 2011). O algoritmo do SOM está detalhado em Kohonen (2001) e Chon et al. (1996). As análises estatísticas e representações gráficas deste trabalho foram geradas no ambiente R ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)). Para a representação espacial dos grupos sedimentares foi utilizado o *software* ArcGIS (ESRI), com o qual foi delimitada uma área de abrangência, considerando os limites geográficos do segmento E-W do CEP.

### 3. RESULTADOS

O modelo mais consistente construído pelo SOM para determinar a compartimentalização sedimentar ao longo do eixo E-W do CEP foi composto de 96 neurônios dispostos em doze linhas e oito colunas (Erro de Quantização: 0,45; Erro Topográfico: 0,009). Após o treinamento foi possível identificar três grupos distintos nos locais de amostragem (Figs. 2a e 2b) de acordo com combinações entre os parâmetros utilizados.

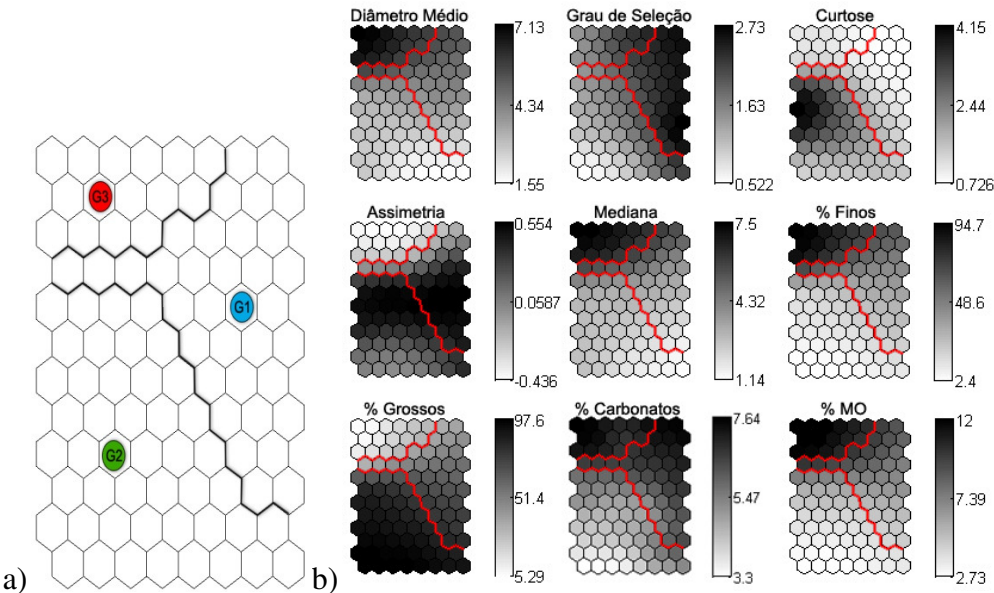


Figura 2 - (a) Classificação dos 484 locais de amostragem através do processo de aprendizagem dos mapas auto-organizáveis (SOM). (b) Representação individual das variáveis modeladas pelo SOM, onde os tons escuros representam os maiores valores registrados para as variáveis, enquanto que os claros representam os menores valores.

O grupo 1 é constituído por 84 amostras (17,35% do total), sendo formado por areias muito finas, muito pobremente selecionadas, com assimetria muito positiva e curtose mesocúrtica. Apresenta teores médios de carbonatos e matéria orgânica de 6,69% e 6,06% respectivamente. A principal característica formadora desse grupo foi o grau de seleção com pior seleção. Está localizado principalmente na região de Antonina, na região de mistura do estuário próximo a Paranaguá e uma parcela de amostras próxima a desembocadura do estuário.

O grupo 2 tem a principal variável formadora a porcentagem de grossos (91,37%) que apresentou valores mais elevados em comparação aos demais. As amostras (53,51%) que formam este grupo apresentam areias finas, pobremente selecionadas, com assimetria positiva, curvas muito leptocúrticas e menores teores de carbonatos médios de 4,44% e 3,65% de matéria orgânica. Está distribuído junto à desembocadura do estuário e fluviais próximas a Antonina e ao canal da Cotinga (Fig. 3). O grupo 3 é formado por siltes finos, pobremente selecionados com assimetria negativa e curtose platicúrtica. Apresenta teores médios de carbonatos de 7,29% e 10,83% de matéria orgânica, sendo os maiores encontrados. As principais características formadoras desse grupo é o diâmetro médio e porcentagens de matéria orgânica e carbonatos e finos (78,54%). As 141 amostras formadoras desse grupo (29,13%) estão localizadas principalmente na região de Antonina próximas a planícies de maré da região e na margem norte (Tab. 1).

Tabela 1 – Principais características dos três grupos formados pelo SOM.

	2012		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
<b>Diâmetro médio</b>	Areias muito finas	Areias finas	Siltes finos
<b>Grau de seleção</b>	Muito pobremente selecionados	Pobremente selecionados	Pobremente selecionados
<b>Assimetria</b>	Muito positiva	Positiva	Negativa
<b>Curtose</b>	Mesocúrtica	Muito leptocúrtica	Platicúrtica
<b>Mediana</b>	2,67	2,45	6,65
<b>% Finos</b>	32,7	8,62	78,54
<b>% Grossos</b>	67,29	91,37	21,45
<b>% Carbonatos</b>	6,69	4,44	7,29
<b>% MO</b>	6,06	3,65	10,83

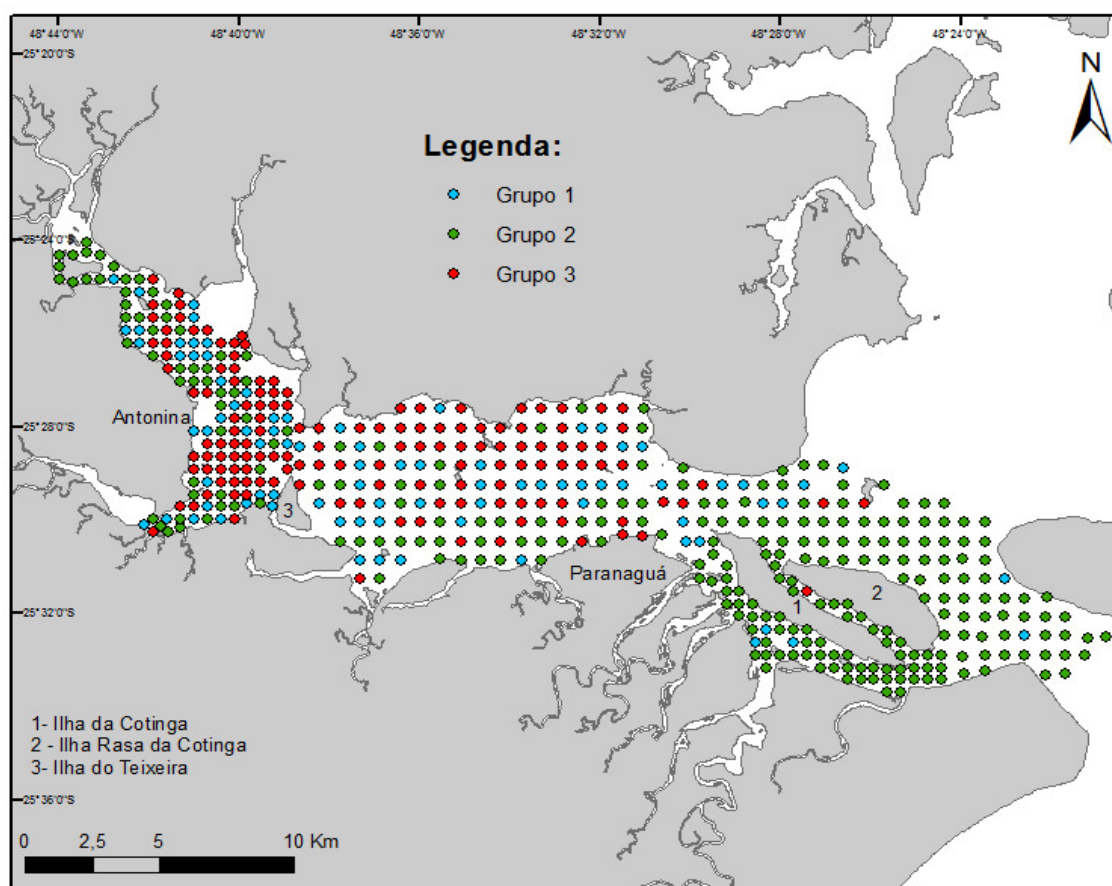


Figura 3 - Distribuição dos grupos de compartimentação sedimentológica gerados pelos mapas auto-organizáveis (SOM) em relação aos pontos de amostragem ao longo do eixo leste-oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP).

Entre as variáveis sedimentares analisadas, foi possível identificar, através da correlação de Pearson, que a porcentagem de finos, conforme esperado, está positivamente correlacionada com a porcentagem de matéria orgânica ( $r= 0,72$ ), diâmetro médio do grão ( $r= 0,93$ ) e mediana ( $r= 0,9$ ).

Através das análises estatísticas par a par das variáveis sedimentológicas foi possível identificar que para a porcentagem de sedimentos finos, grossos e matéria orgânica, assim como o diâmetro médio, grau de seleção e assimetria foi registrado valores significativamente diferentes entre todos os grupos formados pelo SOM (Mann-Whitney,  $p<0,001$ ). Os grupos 1 e 3 apresentaram semelhanças nos valores registrados para a porcentagem de carbonatos e na curtose (Mann-Whitney,  $p>0,01$ ) (Fig. 4).



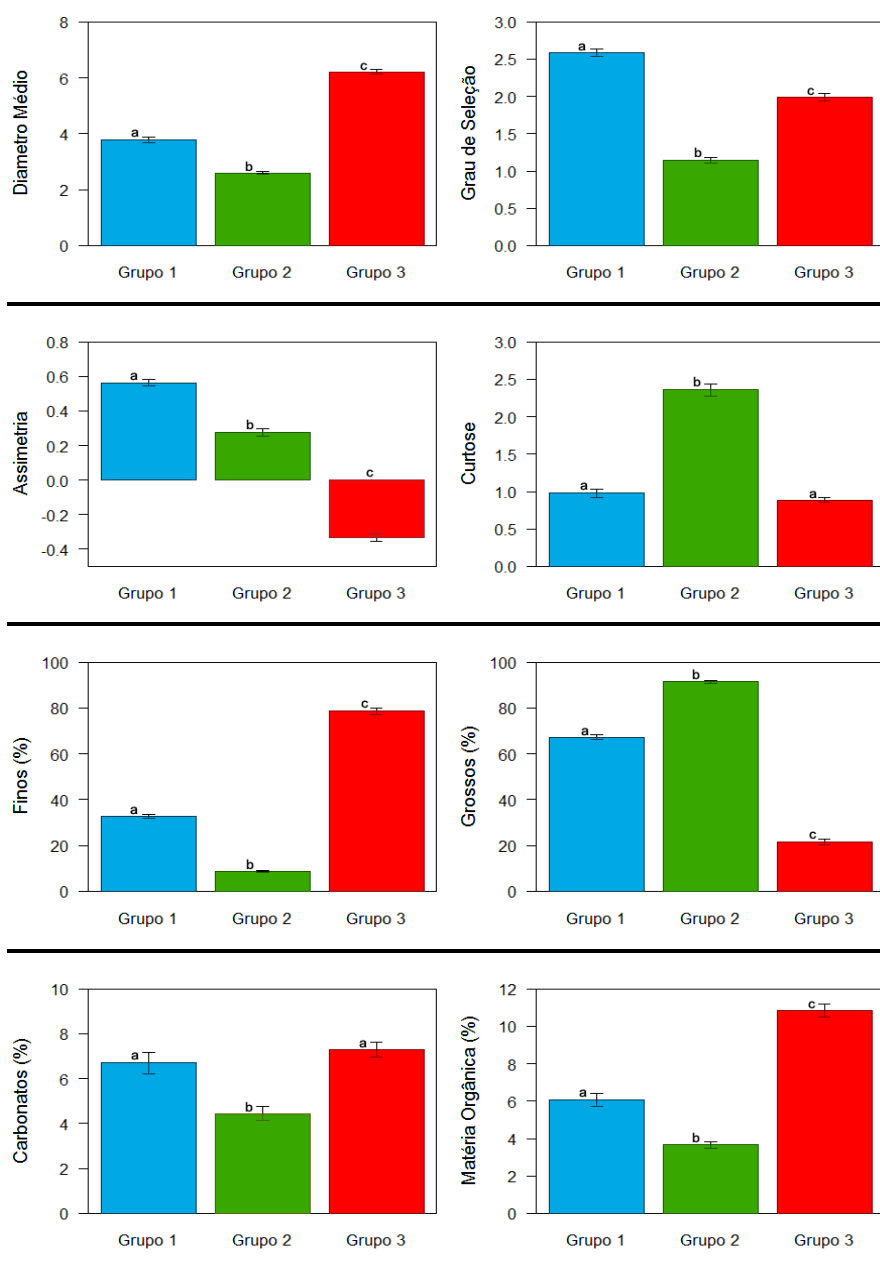


Figura 4 - Valores médios e desvio padrão de cada variável sedimentar para os grupos (1, 2, 3) onde é possível observar as características de cada grupo formado pelos mapas auto-organizáveis (SOM). Letras diferentes correspondem às diferenças significativas das variáveis entre os grupos, de acordo com o teste não-paramétrico de Mann-Whitney.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de abordagens estatísticas para projeção e classificação são consideradas boas ferramentas para as relações entre diferentes parâmetros em grupos de amostras. No caso de classificação de grandes conjuntos de dados, o SOM indica

algumas vantagens adicionais, já que torna possível não apenas para agrupar os objetos de interesse (ou as variáveis para caracterizar as amostras), mas para demonstrar sua proximidade espacial. Para amostras de sedimentos em regiões espaciais maiores, a representação real das amostras agrupadas na sua forma natural é de interesse substancial, uma vez que, permite a interpretação deste compartimento ambiental (Tsakovski et al., 2009).

O uso do dendrograma como ferramenta auxiliar na identificação dos possíveis grupos de amostras sugere que estas duas técnicas podem ser complementares e resultam em avaliações mais robustas na formação dos grupos sedimentares.

Os SOMs como ferramentas analíticas para a descoberta de padrões entre componentes de um sistema vêm cada vez mais sendo utilizadas na modelagem ambiental, nas mais variadas áreas, como qualidade de sedimentos, ecotoxicologia, qualidade de água, ecologia, geomorfologia, hidrologia, meteorologia (Cereghino et al., 2001; Park et al., 2001, 2003; Götz e Lauer, 2003; Tran et al., 2003; Marengo et al., 2006; Ersoya et al., 2007; Kruk et al., 2007; Tselentis et al., 2007; Alvarez-Guerra et al., 2008; Choi et al., 2009; Hentati et al, 2010). Ferentinou et al (2012) ao associarem o SOM com técnicas de SIG encontraram tendências de variação das propriedades dos sedimentos relacionados com a declividade, morfologia, estratigrafia e dados sísmicos. Este uso crescente do SOM se deve principalmente ao fato da rede fornecer uma classificação mais detalhada dos agrupamentos, fator que pode ser importante para que essa ferramenta também seja utilizada em análises sedimentológicas.

Para dados de parâmetros ecotoxicológicos (toxicidade aguda e crônica) e componentes químicos em sedimentos, por exemplo, Tsakovski et al (2009) concluíram que a interpretação dos dados de SOM permite melhor compreensão dos marcadores de discriminação para cada um dos grupos identificados de similaridade entre as áreas de amostragem, sendo possível detectar o conteúdo de cada nó no mapa, de modo que cada cluster apresenta uma composição muito bem determinada.

A comparação dos resultados do SOM, realizada por Alvarez-Guerra et al. (2008), com análise de cluster hierárquico (HCA) e análise de componentes principais (PCA) na classificação sedimentar, onde foram consideradas variáveis químicas, físicas e ecotoxicológicas mostrou que os resultados obtidos entre os métodos são semelhantes. Porém o autor destaca que o SOM fornece uma classificação mais detalhada sendo mais eficiente e útil para investigações posteriores e tomadas de decisão, pois é capaz de

diferenciar os grupos com eficiência, além da sua visualização ser mais clara e fácil de interpretar.

Nesse sentido, os autores destacaram que a capacidade de demonstração do PCA se deteriora consideravelmente quando três ou mais componentes têm que ser mantidas para explicar uma proporção significativa de variabilidade. Nos estudos sedimentológicos, a utilização de diversas variáveis se torna necessária para as relações ambientais com uma ênfase na análise espacial, sendo destacado portanto as vantagens do uso do SOM.

Cattani e Lamour (2013) relacionaram grupos sedimentares encontrados por estatística multivariada (*Cluster Analysis* e PCA) buscando fácies sedimentares para caracterização geomorfológica e integração de dados espaciais também nas baías de Paranaguá e Antonina. Da mesma maneira, encontraram grupos semelhantes ao trabalho do SOM, porém por apresentar um conjunto de dados extenso (318 amostras e no caso deste trabalho 484 amostras), apresentou dificuldades na hora da identificação dos grupos no dendograma pelo volume de amostras. Porém, em ambos os casos, as variáveis sedimentológicas responderam de forma suficiente, sendo os grupos bem determinados, com resultados semelhantes, como encontrado por Alvarez-Guerra et al. (2008) na comparação entre esses dois métodos com outras variáveis.

Em ambos os trabalhos, a divisão em fácies sedimentares podem ser relacionados com outros parâmetros, como a profundidade. De acordo com Dyer (1995), as baixas velocidades de correntes criam condições de deposição de sedimentos em áreas rasas nos ambientes estuarinos, como as planícies de maré, como foi observado nos resultados obtidos.

A determinação das fácies texturais dos sedimentos superficiais é de fundamental importância para caracterizar os depósitos sedimentares e a dinâmica sedimentar que os originou (Barros et al., 2010), além da possível identificação de sedimentos contemporâneas. A aplicação dos mapas auto-organizáveis (SOM) nas variáveis sedimentares sugere que os diferentes grupos identificados (Fig. 2 e Fig. 3) refletem os distintos processos ambientais que ocorrem ao longo do segmento E-W do CEP.

Uma fácies deve, idealmente, ser um pacote sedimentar distinto, formado sob determinadas condições de sedimentação, refletindo um processo ou ambiente particular (Reading 1986; Lessa e Dias, 2009). Desta forma, um ambiente de deposição pode ser reconstruído indiretamente, isto é, por uma estimativa dos fatores ambientais e sua

evolução no espaço e tempo. Esta abordagem utiliza o conceito de deposição ou modelos de fácies e de sistemas de deposição (Einsele, 1992; Gromoll, 1993).

Grupos sedimentares em estuários podem indicar processos ambientais que ocorrem em determinadas regiões. Vieira et. al (2008) ao compararem os sedimentos de fundo do complexo estuarino da baía da Babitonga com diversos estuários no Brasil (Silva 2002; Corrêa, 2005; Dias e Medeiros, 2005) e utilizar PCA e Cluster para definir os grupos sedimentares encontrados, observaram semelhanças na disposição das zonas de deposição. Estes estudos indicaram que as áreas expostas a uma maior ação hidrodinâmica possuem sedimentos mais grossos (areias) e bem selecionados, sendo que os teores mais elevados de carbonatos também se relacionam com estas mesmas áreas. Já as zonas interiores, com baixa hidrodinâmica, caracterizam-se pela deposição de sedimentos finos (siltes e argilas), marcados pela má seleção e com teores elevados de matéria orgânica, como também observada neste trabalho.

Nesse sentido, o uso de SOM foi considerado uma ferramenta eficiente para agrupamento de grande volume de amostras, além de mostrar vantagens adicionais ao método clássico de estatística multivariada, sendo importante a associação dos dados estatísticos com conhecimentos da região e dados observados em campo. Essa associação se torna importante para detectar possíveis imprecisões de interpretação dos resultados

A definição de fácies e grupos sedimentares foi possível a partir dos parâmetros granulométricos e composicionais, mostrando a importância de integração de dados sedimentológicos visando à caracterização espacial de ambientes estuarinos (Lessa e Dias, 2009). Os resultados obtidos podem auxiliar no entendimento dos processos atuantes na distribuição sedimentar e preenchimento deste estuário que apresenta importância econômica (presença de portos e dragagem) e biológica (gestão de áreas de conservação ambiental), além de servir como subsídio com relação ao estudo da evolução costeira durante o período do Quaternário, tendências e transporte sedimentar.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Alvarez-Guerra, M.; González-Piñuela, C., Andrés A., Galán B., Viguri J.R., 2008. Assessment of self-organizing map artificial neural networks for the classification of sediment quality. *Environment International* 34, 782-790.

411 Barros, L. C.; Valença, L. M. M.; Souza Neto, J. A.; Madruga Filho, J. D.; Coito Junior,  
 412 R. 2010. Mapeamento e quantificação das fácies texturais nos estuários da região  
 413 interna de Suape - PE. Revista de Geografia. UFPE – CG/NAPA, Recife.  
 414  
 415 Carver, R. E. 1971. Settling analysis. In: Procedures in sedimentary petrology. Wiley -  
 416 Interscience, New York, p.427-452.  
 417  
 418 Cattani, P. E.; Lamour, M. R. 2013. Geomorfologia e sedimentologia da baía  
 419 de Paranaguá pela integração e análise espacial de dados. *In press*.  
 420  
 421 Céréghino, R.; Giraudel, J. L; Compin, A., 2001. Spatial analysis of stream  
 422 invertebrates distribution in the Adour–Garonne drainage basin (France), using  
 423 Kohonen self organizing maps. Ecological Modelling 146, 167-180.  
 424  
 425 Choi, K. W.; Lee J. H.; Kwok, K. W.; Leung, K. M., 2009. Integrated stochastic  
 426 environmental risk assessment of the harbour area treatment scheme (HATS) in Hong  
 427 Kong. Environmental Science and Technology 43, 3705-11.  
 428  
 429 Chon, T. S.; Park, Y.S.; Moon, K. H.; Cha, E.Y. 1996. Patternizing communities by  
 430 using an artificial neural network. Ecological Modelling 90, 69-78.  
 431  
 432 Corrêa, I. C. S. 2005. Aplicação do diagrama de Perjup na interpretação da  
 433 sedimentação e da dinâmica do estuário da baía de Marajó-PA. Pesquisas em  
 434 Geociências, 32(2): 109-118.  
 435  
 436 Cortes, U. 2000. Artificial intelligence and environmental decision support systems,  
 437 Applied Intelligence, 13(1), 77-91.  
 438  
 439 Dawson, C. W. e Wilby, R. L. 2001. Hydrological modelling using artificial neural  
 440 networks. Progress in Physical Geography 25 (1), 80-108.  
 441  
 442 Dias, G. T. M. e Medeiros, M. F. 2005. Proposta de metodologia para a elaboração de  
 443 cartas sedimentológicas. In: Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 10,  
 444 Guarapari: ABEQUA, 1 Cd-Rom.

- Dyer, K. R. 1995. *Estuaries: A Physical Introduction*. 2 ed., Chichester, John Wiley & Sons, 195 p.
- Einsele, G., 1992, *Sedimentary basins. Evolution, facies and sediment budget*: Springer-Verlag, Berlin, 628 p.
- Ersoya, O.; Aydara, E.; Gourgaudb, A.; Artunerc, H.; Bayhan, H. 2007. Clustering of volcanic ash arising from different fragmentation mechanisms using Kohonen self-organizing maps. *Computers and Geosciences* 33, 821–828.
- Ferentinou, M.; Hasiotis, T.; Sakellariou, M. 2012. Application of computational intelligence tools for the analysis of marine geotechnical properties in the head of Zakynthos canyon, Greece. *Computers & Geosciences* 40, 166–174.
- Folk, R.L. e Ward, W.C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27:3-26.
- Götz, R.; Lauer, R. 2003. Analysis of sources of dioxin contamination in sediments and soils using multivariate statistical methods and neural networks. *Environmental Science and Technology* 37, 5559–5565.
- Gromoll, L. 1993. Grainum – a program for the genetic interpretation of the grain size distribution of sands. *Computers & Geosciences* Vol. 19, No. 10, pp. 1405—1411.
- Hentati, A.; Kawamura, A.; Amaguchi, H.; Iseri, Y. 2010. Evaluation of sedimentation vulnerability at small hillside reservoirs in the semi-arid region of Tunisia using the Self-Organizing Map. *Geomorphology* 122, 56–64.
- Knoppers, B. A.; Brandini, F. P.; Thamm, C. A. 1987. Ecological studies in the bay of Paranaguá. II. Some physical and chemical characteristics. *Nerítica, Curitiba*, v. 2, p.1-36.
- Kohonen, T., 1995. *Self-Organising Maps*. Springer, Berlin.

479 Kohonen, T. 2001. Self-Organizing Maps, 3rd edn. Springer-Verlag, Berlin, Germany.  
 480

481 Kruk, A.; Lek, S.; Park, Y.S.; Penczak, T. 2007. Fish assemblages in the large lowland  
 482 Narew River system (Poland): application of the self-organizing map algorithm.  
 483 Ecological Modelling 203:45–61  
 484

485 Lamour, M. R.; Soares, C. R.; Carrilho, J. C. 2004. Mapas de parâmetros texturais de  
 486 sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR. Boletim Paranaense  
 487 de Geociências, Pontal do Sul, Editora UFPR, v. 55, p. 77-82.  
 488

489 Lamour, M. R. e Soares, C. R. 2007. Variação das características granulométricas dos  
 490 sedimentos de fundo do canal navegável aos Portos da Baía de Paranaguá. In: Boldrini,  
 491 E. B; Soares, C.R; Paula, E. V. (Org). Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e  
 492 Monitoramento Ambiental. Antonina: ADEMADAN/UNIBEM/SEMA/Governo do  
 493 Estado do Paraná. p 244-252.  
 494

495 Lana, P. C.; Marone, E.; Lopes, R. M.; Machado, E. C. 2000. The subtropical estuarine  
 496 complex of Paranaguá Bay, Brazil, In: Seeliger, U., Lacerda, L. D., Kjerfve, B. (eds.),  
 497 Coastal Marine Ecosystems of Latin America. Springer Verlag, NY, USA, 467p.  
 498

499 Lessa, G. e Dias, K. 2009. Distribuição espacial das litofácies de fundo da Baía de  
 500 Todos os Santos. Quaternary and Environmental Geosciences 01(2):84-97  
 501

502 Mantovanelli, A. 1999. Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em  
 503 suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem. Curitiba, 152 f.  
 504 Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra,  
 505 Universidade Federal do Paraná.  
 506

507 Marengo E.; Gennaro M. C.; Robotti E.; Rossanigo P.; Rinaudo C.; Roz-Gastaldi M.  
 508 2006. Investigation of anthropic effects connected with metal ions concentration,  
 509 organic matter and grain size in Bormida river sediments. Analytica Chimica Acta 560,  
 510 172-83.

511 Marone, E.; Machado, E. C.; Lopes, R. M.; Silva, E. T. 2005. Land-ocean fluxes in the  
512 Paranaguá Bay Estuarine System, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*,  
513 53(3/4), 169-181.

514

515 Park, Y. S.; Kwak, I. S.; Chon, T. S.; Kim, J. K.; Jorgensen, S. E., 2001.  
516 Implementation of artificial neural networks in patterning and prediction of exergy in  
517 response to temporal dynamics of benthic macroinvertebrate communities in streams.  
518 *Ecological Modelling* 146, 143-157.

519

520 Park, Y.S.; Céréghino, R.; Compin, A.; Lek, S. 2003. Applications of artificial neural  
521 networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters.  
522 *Ecological Modelling* 160, 265-280.

523

524 Perillo, G. M. E. 1995. Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries. In  
525 Perillo, G. M. E. (Ed.). *Geomorphology and sedimentology of Estuaries*. The  
526 Netherlands: Elsevier Science B.V. p 17-47.

527

528 Reading, H. G. 1986. *Sedimentary Environments and Facies*. British Library, Londres,  
529 615 p

530

531 Silva, L. F. 2002. Identificação de subambientes na baía Sul (SC) com base na análise  
532 de variáveis oceanográfica e sedimentares. Florianópolis, Universidade Federal de Santa  
533 Catarina, Dissertação de Mestrado.

534

535 The Mathworks Inc., 2011. MATLAB Version 7.12. The Mathworks, Inc.,  
536 Massachusetts.

537

538 Tran, L. T., Knight, C. G., O'Neill, R. V., Smith, E. R., O'Connell, M., 2003. Self-  
539 organizing maps for integrated environmental. *Environmental Management* 31, 822-  
540 835.

541

542 Tsakovski, S., Kudlak, B., Simeonov, V., Wolska, L., Namiesnik, J. 2009. Ecotoxicity  
543 and chemical sediment data classification by the use of self-organising maps. *Analytica*  
544 *Chimica Acta* 631,142–152.



Tselentis, G.-A., Serpetsidaki, A., Martakis, N., Sokos, E., Paraskevopoulos, P.,  
Kapotas, S. 2007. Local high-resolution passive seismic tomography and Kohonen  
neural network- application at the Rio-Antirio Strait, central Greece. *Geophysics* 72,  
B93–B106.

Ultsch, A. e Siemon, H. P. 1990. Kohonen's self organizing feature maps for  
exploratory data analysis. In: *Proceedings of INNC'90, International Neural Network  
Conference*. Kluwer Publications, pp. 305–308.

Vesanto J.; Himberg J.; Alhoniemi E.; Parhankangas J. 1999. Self-organising map in  
Matlab: the SOM Toolbox. In: *Proceedings of the Matlab Digital Signal Processing  
Conference*. Espoo, Finland, 35–40.

Vesanto, J.; Himberg, J.; Alhoniemi, E.; Parhankangas, J. 2000. SOM Toolbox for  
Matlab 5. Technical Report A57. Neural Networks Research Centre, Helsinki  
University of Technology, Helsinki, Finland.

Vieira, C. V.; Filho Horn, N. O.; Bonetti, C. V. D. H. C.; Bonetti, J. 2008.  
Caracterização morfosedimentar e setorização do Complexo Estuarino da Babitonga/  
SC. *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 62-63. P. 85-105. Editora UFPR.

Ward, J. H., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of  
the American Statistical Association* 58, 236.

## CAPÍTULO II

### EVOLUÇÃO SEDIMENTAR AO LONGO DO SEGMENTO E-W DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ, SUL DO BRASIL

### SEDIMENTARY EVOLUTION ALONG THE SEGMENT E-W OF PARANAGUÁ ESTUARINE COMPLEX

**Revista pretendida:** Estuarine, Coastal and Shelf Science, ISSN (0272-7714), Fator de Impacto (JCR, 2011) = 2.622, Qualis CAPES = Estrato B1.

## RESUMO

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP; 25°30'S/48°25'W) está submetido a interações entre a hidrodinâmica, a geomorfologia de fundo e a ação antrópica, o que pode resultar em mudanças na distribuição das características dos sedimentos de fundo em um curto intervalo de tempo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a evolução sedimentar das baías de Antonina e Paranaguá entre os anos de 1966 e 2012, evidenciando possíveis mudanças nestas características. Para tanto, foram utilizados três conjuntos de dados, distintos pela cronologia de amostragem, que posteriormente formaram a base para a elaboração de mapas temáticos. Os principais resultados foram obtidos pela utilização de técnicas de geoprocessamento e pela identificação de três fácies sedimentares pela aplicação do método SOM (*Self Organizing Maps*). Posteriormente, estes resultados foram relacionados com a batimetria e com as velocidades máximas de correntes de maré, indicando assim possíveis controles de distribuição. No geral, a variação dos parâmetros granulométricos ao longo da área de estudo se mostrou associada ao aporte sedimentar, sendo este uma função tanto das atividades antrópicas quanto naturais (como atividade biológica e hidrodinâmica) que modificam, em diferentes escalas, os padrões de distribuição sedimentar deste estuário.

**Palavras-chave:** padrões sedimentológicos, SOM, sedimentologia,

## ABSTRACT

The Paranaguá Estuarine Complex (PEC; 25°30'S / 48°25'W) is subjected to the interactions between hydrodynamics, geomorphology background and anthropogenic activities, which may result in changes in the distribution of bottom sediments in a short time. The objective of this study was to evaluate the sedimentary evolution of the bays of Antonina and Paranaguá between the years 1966 and 2012, indicating possible changes in these characteristics. For this, it used three data sets for different sampling chronology, which later formed the basis for the elaboration of thematic maps. The main results were obtained by using GIS techniques and the identification of three sedimentary facies processing by SOM (Self Organizing Maps) method. Subsequently, these results were correlated with depth and with the maximum speeds of tidal currents, thus indicating possible controls distribution. Overall, the variation of grain size parameters throughout the study area was associated to sand supply, which is a function of both human activities and natural (such as hydrodynamic and biological activity) that change at different scales the sediments patterns distribution in this estuary.

**Keywords:** grain size patterns, SOM, sedimentology.

## 1. INTRODUÇÃO

Estuários são ambientes submetidos ao aporte de águas, cargas dos rios e efeitos da pluviosidade, os quais influenciam na circulação, transporte e distribuição de sedimentos e componentes químicos, contribuindo com os impactos na estrutura dos ecossistemas costeiros ao longo do tempo (Molisani et al., 2007). As regiões estuarinas devem ser compreendidas como receptoras naturais dos sedimentos carregados pelas bacias hidrográficas à montante, caracterizando-se como área natural de assoreamento (Perillo, 1995). Desta forma, a capacidade de retenção de sedimentos destes ambientes é dada pelas suas características geomorfológicas e dinâmicas, as quais são uma função do espaço disponível para a sedimentação e do balanço sedimentar (Perillo e Syvitski, 2010).

Os sedimentos que chegam aos estuários através do aporte fluvial, geralmente são uma mistura heterogênea de tamanhos e composição que refletem a disponibilidade das áreas fonte e a convergência entre dois ambientes bastante energéticos (os rios e a costa adjacente exposta às ondas), que acaba por ter uma função de amortização da energia (Dyer, 1989; 1995; 1997;

Widdows et al., 2000; Uncles et al., 2006), propiciando condições para a deposição de siltes e argilas. No geral, este processo ocorre na zona de mistura estuarina e junto às margens dos estuários, enquanto que as areias e os grânulos são depositados nas adjacências das desembocaduras dos rios, em forma de deltas (Dyer, 1995; McManus, 1998; Prandle et al., 2006).

Por sua vez, o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) possui um caráter heterogêneo, já que apresenta importância ecológica com Unidades de Conservação dispostas em suas margens em contraponto a política de expansão portuária dos últimos anos, as quais demandam novas áreas emersas e operações de dragagem frequentes. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a evolução sedimentar das baías de Antonina e Paranaguá em um curto período de tempo identificando mudanças nos padrões de distribuição das características dos sedimentos de fundo em resposta às mudanças ambientais.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O CEP (Fig. 1) está localizado na porção centro-norte do litoral paranaense ( $25^{\circ}15'S/48^{\circ}25'W$ ), disposto em uma área aproximada de  $612 \text{ km}^2$ , em meio a uma extensa planície costeira (Lana et al., 2000). A sua configuração principal apresenta dois segmentos com orientações espaciais distintas, denominados de baías das Laranjeiras e de Guaraqueçaba (N-S) e de Paranaguá e de Antonina (E-W). Em ambos são desenvolvidas atividades de lazer e pesca artesanal, entretanto somente no segmento E-W ocorrem atividades portuárias.

No geral, os sedimentos de fundo do segmento E-W do CEP apresentam um padrão de afinamento do diâmetro médio e piora do grau de seleção em direção a sua cabeceira (Bigarella et al., 1978; Lamour e Soares, 2008). Segundo Lamour et al. (2004), na baía de Antonina ocorrem siltes grossos a finos associados às áreas rasas, que estão concentrados em suas margens, enquanto que as areias grossas a médias ocorrem próximas à sua margem sudoeste. Nas adjacências do porto de Paranaguá o diâmetro médio diminui, variando entre areias finas e siltes médios. O grau de seleção dos sedimentos da região apresenta-se de pobremente para muito pobremente selecionados, com um predomínio dos pobremente selecionados na baía de Paranaguá.

Este segmento E-W do CEP, que compreende as baías de Paranaguá e Antonina, apresentam uma segmentação em três setores, pela distribuição das características dos sedimentos de fundo. Na cabeceira do estuário (zona superior meandrante) encontram-se as

areias fluviais, no setor intermediário (zona de funil) predominam as lamas (siltes+argilas), e na área de desembocadura encontram-se as areias finas a muito finas bem selecionadas, com características marinhas. Assim, não ocorrendo o aporte de areias fluviais a partir da cabeceira do estuário para a área de desembocadura (Odreski et al., 2003).

O CEP é classificado como um estuário parcialmente misturado do tipo B (geralmente raso), hipsíncrono com heterogeneidades laterais. A onda de maré apresenta regime semi-diurno, onde ocorrem duas preamares e duas baixa-mares em um dia lunar (24 hs 50 min) com desigualdades diurnas (Marone et al. 1997). As velocidades máximas de correntes de maré à  $\approx 3$  m de profundidade, na porção externa da desembocadura sul do CEP, foram mensuradas em  $0,32 \text{ m.s}^{-1}$  nos períodos de maré enchente e  $0,87 \text{ m.s}^{-1}$  nos de vazante. Na porção interna à desembocadura do estuário ocorrem velocidades de  $0,59 \text{ m.s}^{-1}$  e  $0,97 \text{ m.s}^{-1}$ , respectivamente (Marone et al., 1997).

A área de drenagem das baías de Antonina e Paranaguá evidenciam predominantemente dois grandes compartimentos geomorfológicos: Serra do Mar e Planície Litorânea (Maack, 1968; Bigarella et al, 1978; Oka-Fiori e Canali, 1998). No primeiro encontram-se solos pouco desenvolvidos, declividades significativas e os registros pluviométricos mais elevados do estado do Paraná. Essa configuração paisagística proporciona suscetibilidade natural à ocorrência de movimentos de massa e desenvolvimento de processos erosivos (Paula e Cunico, 2005).

Nesse sentido, Odreski et al. (2003) apresentaram uma quantificação de assoreamento na região de Antonina através da comparação de cartas batimétricas (1901 e 1979) que mostrou uma tendência geral de assoreamento com volume depositado na área abrangida pelos levantamentos batimétricos (cerca de  $25 \text{ km}^2$ ) sendo de  $64.100 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$ .

Paula et al, (2011), realizaram a análise da susceptibilidade geopedológica à produção de sedimentos para a área de drenagem na baía de Antonina focando a unidade geológica (grau de coesão das rochas), a classe de solo e geomorfologia através de índices morfométricos do terreno (declividade e a forma de vertente). O resultado obtido referiu-se de baixa susceptibilidade principalmente nas regiões de manguezais, enquanto que alta susceptibilidade foi encontrada em trechos de média à baixa vertente da Serra do Mar. O predomínio encontrado foi da classe moderada susceptibilidade na porção da Serra, com rochas de alto grau de coesão (baixa susceptibilidade), declividades elevadas (alta susceptibilidade) e solos com taxas medianas de produção de sedimentos. Desta forma, intervenções como a simples retirada da cobertura vegetal tende a proporcionar significativos incrementos nas taxas de produção de sedimentos.

Um fator importante a ser considerado na estimativa de produção sedimentar é a pluviosidade. A porção litorânea do Paraná apresenta os mais elevados totais anuais pluviométricos do estado, superando os 2.000 mm. Os valores observados na vertente leste da Serra do Mar estão entre os mais expressivos do país, já que superam o total acumulado anual de 3.500 mm. Na serra, a pluviosidade é maior que 2.800 mm, comumente superando 3.500 mm nos blocos soerguidos, onde o efeito da orografia se destaca (Paula, 2010).

Com relação à pluviosidade encontrada durante o período de 1977 a 2006 e dividindo em dois conjuntos de dados para se adequar as comparações deste trabalho, um conjunto caracterizado do ano 1977 a 1995 e o segundo entre os anos 1996 a 2006, foi possível observar seguindo os dados de Vanhoni (2009), que entre 1977 a 1995, houve um pico de aumento de pluviosidade em 1983 (3100 mm) e uma queda em 1985 (1700 mm), sendo 1978, 1991 e 1995 os anos menos chuvosos enquanto que 1983 e 1981 os mais chuvosos. Entre 1996 a 2006, houve um pico de aumento de pluviosidade em 1998 (3100 mm) e 2001 (2600 mm) e diminuição em 2000 (1900 mm).

Vanhoni (2009) ao estudar as características regionais climáticas da fachada atlântica sul do Brasil, encontrou que entre os principais fenômenos climáticos causadores de eventos extremos estão o El Niño e La Niña, que influenciam significativamente na variabilidade pluviométrica, sendo o El Niño associado a períodos chuvosos e a La Niña a períodos secos. Nesse sentido, de acordo os dados do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), vários eventos de El Niño e La Niña já ocorreram em diferentes intensidades. Levando em consideração os eventos ocorridos dentro da escala temporal do trabalho de Vanhoni (2009), em relação às ocorrências classificados como forte do El Niño, destacam-se os períodos de 1982/1983 – 1990/1993 e 1997/1998, com ocorrências moderadas de 1968/1970, 1986/1988, 1994/1995 e 2002/2003. Entre as de La Niña, destacam-se os períodos de 1973/1976 e 1988/1989, com ocorrências moderadas 1970/1971, 1998/2001.

Com relação às bacias hidrográficas, as que denotam maior produção anual de sedimentos são Alto Cachoeira ( $8.257 \text{ t.a}^{-1}$ ), Alto Nhundiaquara ( $7.344 \text{ t.a}^{-1}$ ), Sagrado ( $7.290 \text{ t.a}^{-1}$ ) e Marumbi ( $5.919 \text{ t.a}^{-1}$ ) (Fig.1). Entretanto, aquelas que apresentam os valores anuais por  $\text{km}^2$  mais significativos, são as bacias do Pinto, Marumbi, Sagrado, Alto Nhundiaquara e Baixo Nhundiaquara. Neste cenário a maior produção de sedimentos foi identificada nas porções de sopé da Serra do Mar, Morros e Colinas, nas quais a densidade de estradas rurais bem como os percentuais de uso agropecuário demonstrou-se elevados (Paula, 2010).

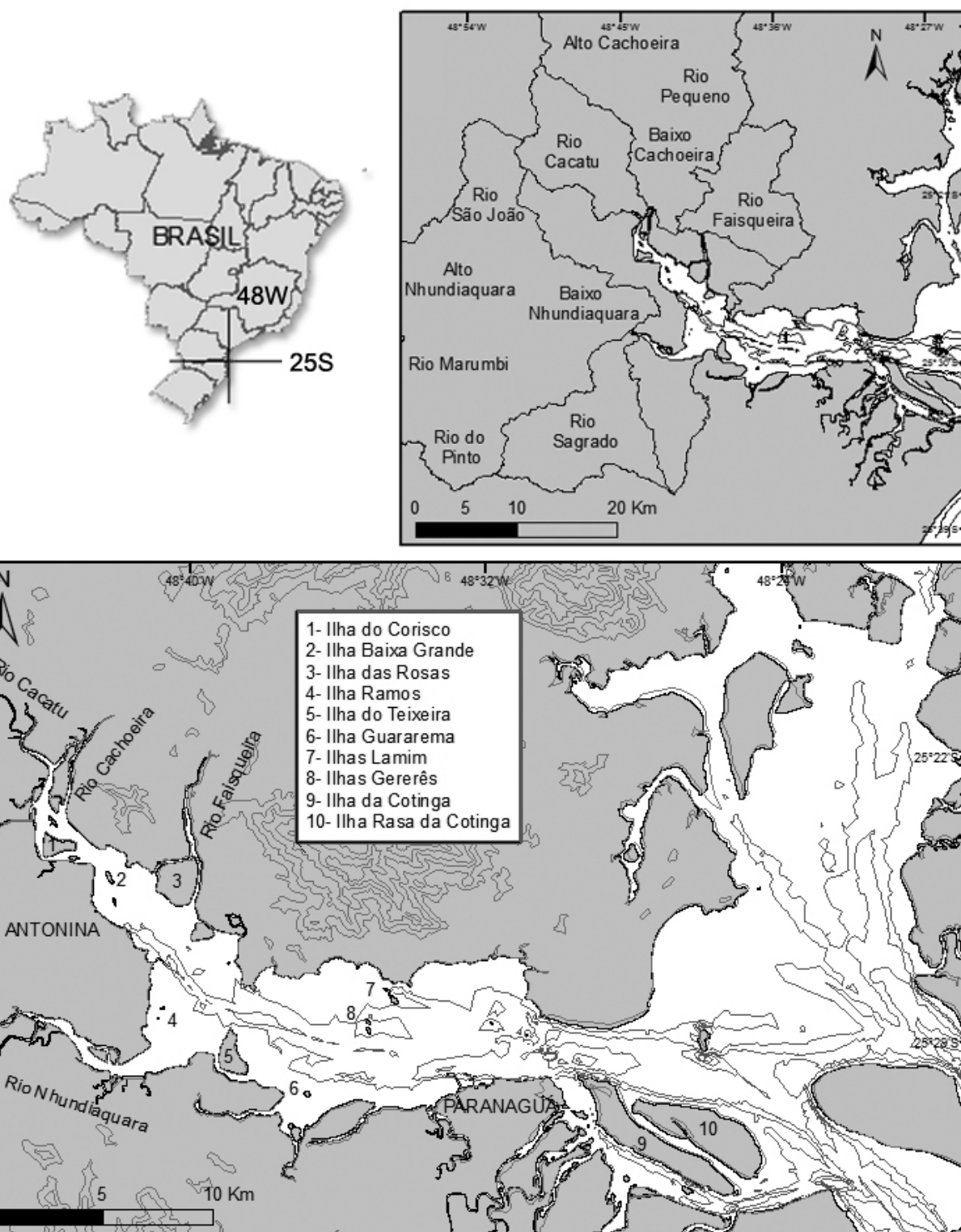


Figura 1- Mapa de localização, com as principais bacias de drenagem, rios e ilhas do segmento E-W do CEP indicadas.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

As coordenadas de localização das amostras dos três conjuntos de dados foram organizados e padronizados quanto às suas características cartográficas (*datum* horizontal WGS84 e sistema de projeção UTMS), enquanto que os parâmetros granulométricos estatísticos foram recalculados no *software* SysGran 3.0 pelo método de Folk e Ward (1957).

As amostras dos três conjuntos de dados foram selecionadas conforme a disposição espacial de 1966, visando à adequação entre as malhas de amostragem para a comparação dos seus parâmetros granulométricos. Desta forma, os dados obtidos no ano de 1966 (Bigarella et al., 1978) consistiram em 311 amostras de sedimentos de fundo, com um espaçamento amostral variando entre 200 e 1.000 m. Nesse conjunto de dados, as amostras estão dispostas de forma irregular, com concentração de pontos na foz dos rios Cachoeira e Cacatu na baía de Antonina. No conjunto de dados de 1995 (Petrobrás, 1997; Lamour et al., 2004), a amostragem foi realizada em forma de transectos totalizando 199 amostras, com espaçamento entre transectos variando de 200 m a 1500 m. E em 2012, foram coletadas 284 amostras com malha variável, com densidade por área e com espaçamento de aproximadamente 1000 metros entre amostras.

As análises granulométricas foram realizadas pela técnica de pipetagem para os sedimentos finos ( $<0,062$  mm) e peneiramento para os sedimentos grossos ( $>0,062$  mm). Porém, constatou-se que houve diferenças entre os procedimentos prévios às análises granulométricas. Nas amostras de 1966, não foram eliminados os teores de carbonatos ( $\text{CO}_3$ ) e de matéria orgânica (MO), justamente o oposto do que ocorreu nas amostras referentes a 1995. Com relação aos dados de 2012, o tratamento prévio foi realizado com a eliminação da matéria orgânica, não foram eliminados os carbonatos, pois estes são tratados como partículas sujeitas a transporte. Como forma de sanar estas incoerências, foram observados os diagramas de frequência, modalidade das curvas e análises visuais macro com intuito de avaliar e comparar os resultados obtidos das análises granulométricas.

Os dados de diâmetro médio foram então interpolados pelo método TIN (*Triangular Irregular Network*), após alguns testes de interpoladores, em ambiente de geoprocessamento (*software* ArcGIS 9.3) resultando em mapas referentes à distribuição das características granulométricas. A seguir foi utilizada a ferramenta de “corte e preenchimento” (*CUT/FILL*) para comparações par a par, o que possibilitou a verificação de mudanças nas características sedimentares pela álgebra entre os mapas.



Para a análise de agrupamento dos parâmetros estatísticos granulométricos (diâmetro médio, grau de seleção, mediana, assimetria, curtose, % de finos, % de grossos) e teores de CO<sub>3</sub> e MO de cada conjunto de dados, foi utilizado o SOM (*Self Organizing Maps*) seguindo o método descrito por Kohonen (1995; 2001). Neste método, os dados foram padronizados com valores no intervalo entre 0 e 1, garantindo assim uma homogeneidade de pesos entre as variáveis. Posteriormente, foram constituídas as camadas de entrada (neurônios “*j*”) e de saída (camada de Kohonen ou saída), que se relacionaram por intensidades de conexão (pesos).

Os neurônios “*j*” receberam informações para cada variável a partir da matriz de dados, onde cada amostra foi representada por um vetor de entrada  $x_i$ . Quando este vetor  $x_i$  foi enviado através da rede, cada neurônio calculou a distância  $d_j(t)$  entre o vetor de pesos  $w_{ij}(t)$  e o respectivo vetor  $x_i$ . A camada de saída foi composta por neurônios  $D_j$ , que funcionaram como “locais virtuais” retornando em um agrupamento de amostras semelhantes, observáveis no mapa de representação individual de cada uma das variáveis. A premissa a ser considerada neste processo foi que entre os neurônios, o que melhor responder a um vetor de entrada é escolhido como vencedor (BMU - *Best Matching Unit*).

A seleção do tamanho ideal do mapa de representação individual seguiu o método de Park et al. (2003), sendo determinado em 96 neurônios, corroborando a regra heurística sugerida por Vesanto et al. (2000) que relataram que o número ‘ótimo’ de unidades de saída está próximo à  $5\sqrt{n}$ , onde  $n$  corresponde ao número de amostras utilizadas no treinamento da rede.

Os grupos formados pelo SOM foram identificados através da U-matriz (Ultsch e Siemon, 1990), pela Distância Euclidiana entre um neurônio e seus vizinhos. Em um segundo momento, os dados foram analisados por dendrogramas aplicando a ligação de Ward e a Distância Euclidiana (Ward, 1963). Para o desenvolvimento dos SOMs (Kohonen, 2001; Chon et al., 1996) foi utilizado o “SOM Toolbox” (Vesanto et al., 1999) no *software* MATLAB (*The Mathworks*, 2011), sendo os grupos de cada conjunto de dados espacialmente similares (Apêndice).

Ainda, a rede neural artificial MLP (*Multi Layer Perceptron*), baseada no algoritmo *backpropagation* (Rumelhart et al., 1986; Lippmann, 1987; Kung, 1993) foi utilizada para a predição dos valores de porcentagens de CO<sub>3</sub> e MO contidas nos sedimentos das amostras de 1966. Nesta análise foram formados três tipos de camadas de neurônios (de entrada, oculta e de saída) incluindo um ou mais neurônios (nós) individualmente.

O treinamento desta rede consistiu em fornecer as variáveis que compõem a camada de entrada, que neste caso foram todas as variáveis de todos os anos, exceto CO<sub>3</sub> e MO. A

camada de saída foi composta pelos valores correspondentes em 1995 e 2012. A etapa de validação da rede com base no aprendizado adquirido calculou o erro entre os valores reais e os preditos, partindo então para a predição dos valores inexistentes de CO<sub>3</sub> e MO (Lek e Guégan, 1999).

A melhor configuração do modelo preditivo foi obtida com a experimentação de diferentes arquiteturas de rede, onde foram modificadas a quantidade de camadas ocultas e seus neurônios, as diferentes funções de transferência e os algoritmos de aprendizado (*backpropagation*). Os critérios de parada do treinamento foram 1.000 épocas ou erro médio quadrado (*mse*) igual a 0,01. Após os testes, optou-se pela rede com uma camada oculta com 25 neurônios, com o algoritmo de gradiente descendente com aprendizado adaptativo e funções de transferência *log-sigmóide* para a camada oculta e para a camada de saída.

As modelagens matemáticas efetuadas por Gonçalves et al. (2005) com os dados de batimetria compilados por Noernberg et al. (1997) e de distribuição das velocidades máximas de correntes de maré mensurados por Marone et al. (1997), foram utilizadas para complementar as análises da distribuição dos sedimentos de fundo da área de estudo, identificando a ocorrência de determinada classe granulométrica com a hidrodinâmica.

#### 4. RESULTADOS

Quanto ao conjunto de dados relativo a 1966, o grupo 1 concentrou 51 amostras sendo formado, em geral, por siltes médios, muito pobremente selecionados, aproximadamente simétricos, com curvas de curtose platicúrticas, e média de porcentagem de finos de 69,6%, 5,1 % de CO<sub>3</sub> e 7,5% de MO, que estão associados as regiões rasas e a regiões próxima a Antonina, e de velocidades de correntes de maré entre 0 - 0,4 m.s<sup>-1</sup>. A exceção a este padrão ocorre com 10 amostras compostas por areias muito finas e siltes grossos, as quais estão associadas a profundidades e ao canal onde as velocidades máximas de correntes atingem os 0,8 m.s<sup>-1</sup>. Esse conjunto de amostras foi agrupado no grupo 1 devido a semelhanças entre os teores de carbonatos e matéria orgânica.

O grupo 2, contendo 80 amostras, é formado por siltes finos, pobremente selecionados, com assimetria positiva e curtose mesocúrtica, com teores médios de 6,3% de carbonatos e 9,9% de matéria orgânica. Esse grupo apresenta as maiores parcelas de sedimentos finos atingindo porcentagens de 79,4%, que estão localizados principalmente na baía de Antonina

com áreas rasas e de baixa velocidade máxima de correntes, como também na margem norte associadas a planícies de maré da região.

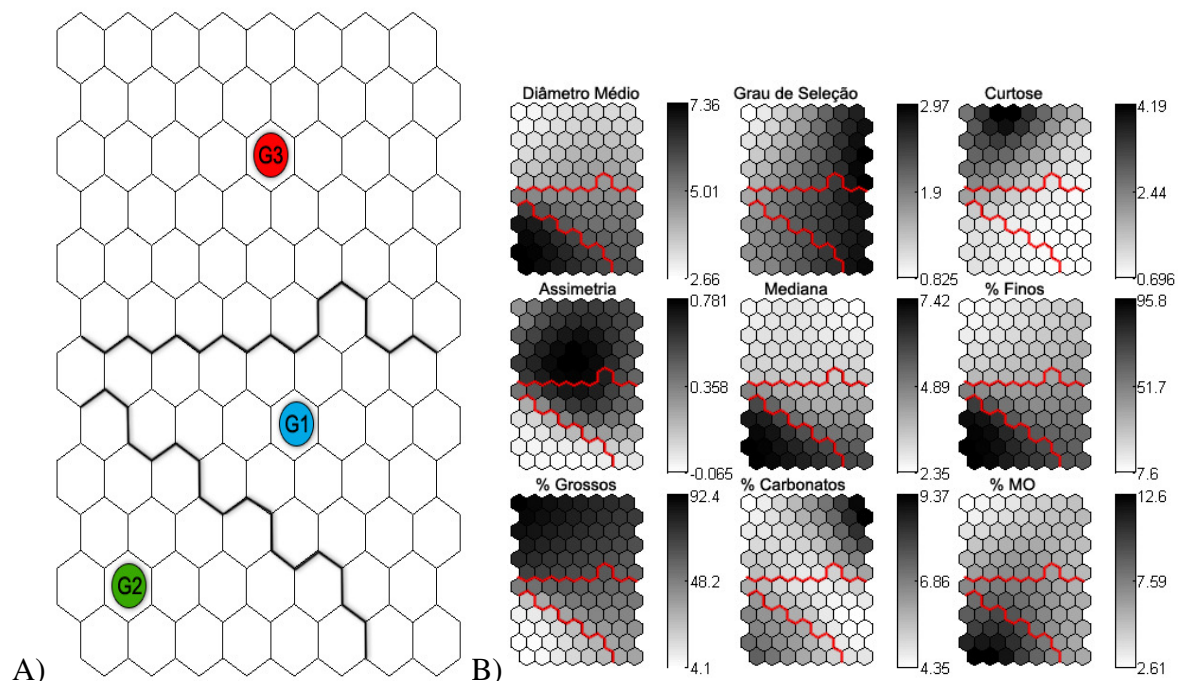


Figura 2 - (A) Classificação das 311 amostras de 1966 através do processo de aprendizagem dos mapas auto-organizáveis (SOM). (B) Representação individual das variáveis modeladas pelo SOM, onde os tons escuros representam os maiores valores registrados para as variáveis, enquanto que os claros representam os menores valores.

O grupo 3 é formado por areias muito finas, pobremente selecionadas, com assimetria muito positiva e curtose muito leptocúrtica, sendo os sedimentos mais grossos desse conjunto de dados, com porcentagens em média de 78%, 5,8% de carbonatos e 4,6% de matéria orgânica. Está localizado principalmente ao longo do canal, e na desembocadura do estuário, onde ocorrem as maiores profundidades e velocidades máximas de correntes de maré, as quais alcançam  $1,2 \text{ m.s}^{-1}$ . As amostras desses grupos ocorrem também nas imediações do canal da Cotinha em regiões mais rasas ( $-5$ ) e menores velocidade de corrente ( $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ ). Neste caso específico, as amostras apresentam teores altos de carbonatos (7% com 5,8% em média) que aumenta o tamanho médio dos grãos. Outro fator que contribui de forma significativa para este caráter mais grosso deste grupo é a presença de desembocaduras fluviais, as quais contribuem com o aporte de areias na região (Fig. 3).

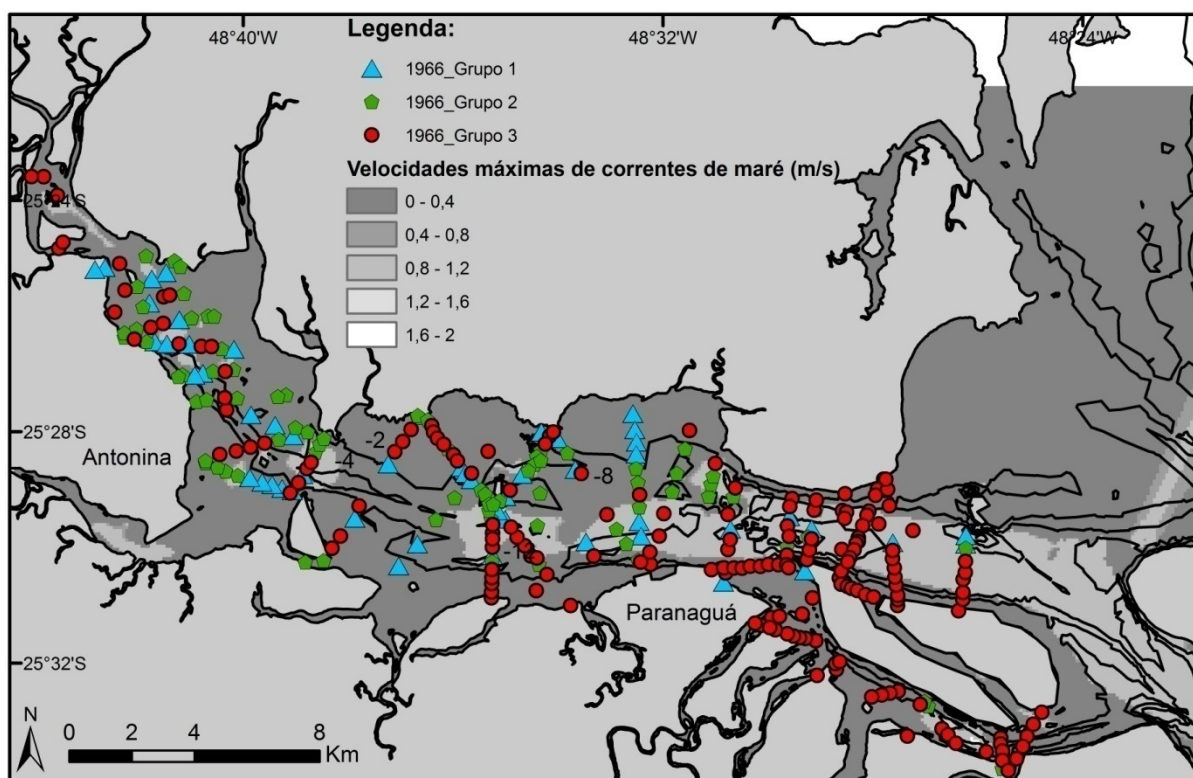


Figura 3 – Mapa de distribuição dos três grupos do ano de 1966 gerados pelos mapas auto-organizáveis (SOM) em relação aos pontos de amostragem ao longo do segmento E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), com as batimetria e velocidades de correntes de maré indicadas.

Para os dados de 1995, o grupo 1, contendo 22 amostras, é formado por siltes grossos, pobremente selecionados, com assimetria positiva e curtose platicúrtica, com teores de 6,7% de carbonatos e 9,2% de matéria orgânica. (Fig.4). Apresenta amostras localizadas na margem norte do eixo E-W, associado a áreas rasas e baixas velocidades de maré, com ocorrências de amostras na região central com maiores profundidades, porém velocidades de maré de até 0,4 m.s<sup>-1</sup>.

O grupo 2, com 48 amostras, é formado por siltes médios, pobremente selecionados, com assimetria muito negativa e curtose mesocúrtica. Este grupo apresenta a maior porcentagem de finos (79,8%), de carbonatos (8,5%) e de matéria orgânica (12,7%). No geral, este grupo está associado a áreas rasas com velocidades de correntes de maré de até 0,4 m.s<sup>-1</sup> na baía de Antonina e margem norte do segmento E-W do CEP.

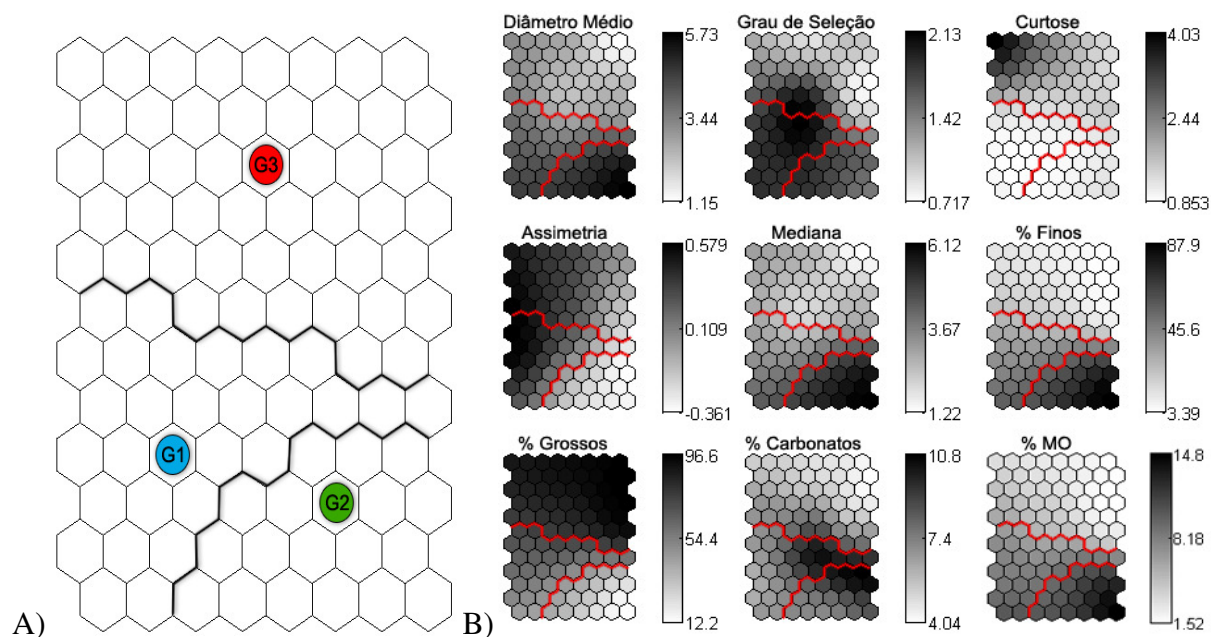
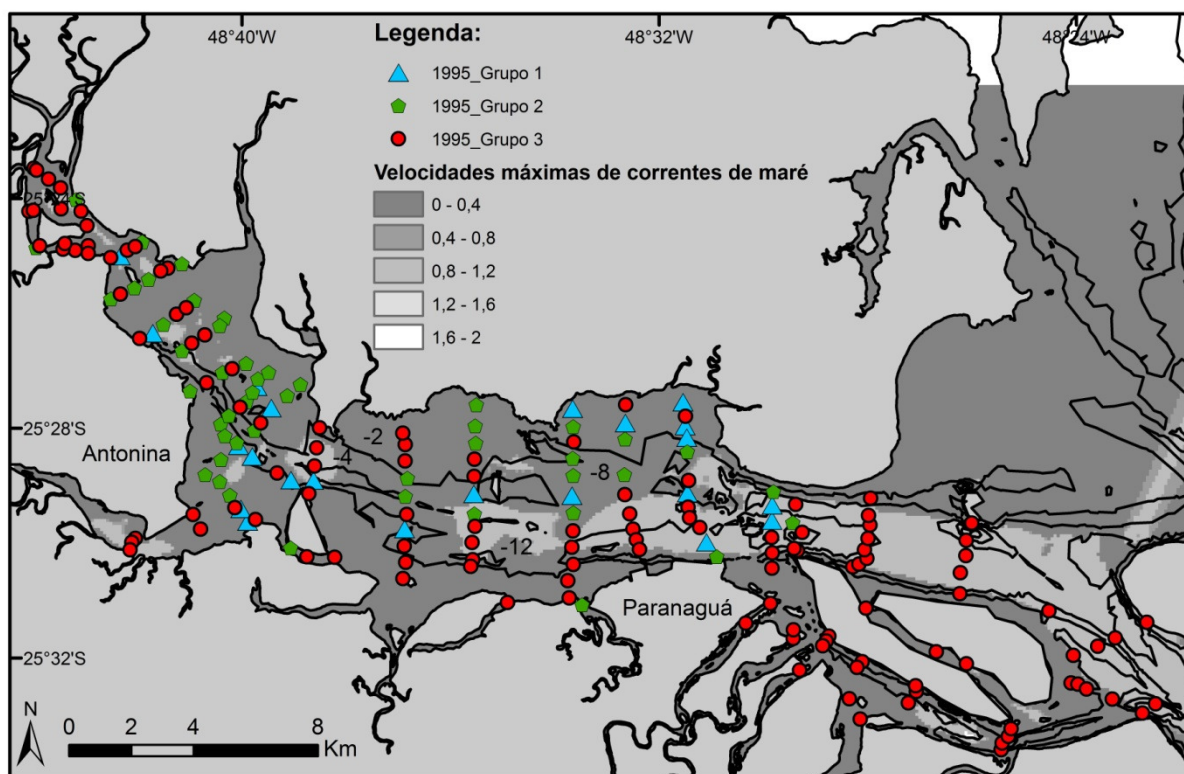


Figura 4 - (A) Classificação dos 199 amostras de 1995 através do processo de aprendizagem dos mapas auto-organizáveis (SOM). (B) Representação individual das variáveis modeladas pelo SOM, onde os tons escuros representam os maiores valores registrados para as variáveis, enquanto que os claros representam os menores valores.

O grupo 3, contendo 128 amostras, é caracterizado por areias finas, pobremente selecionadas, com assimetria positiva e curtose muito leptocúrtica, onde os teores de carbonatos atingem 6,2 % enquanto que os de matéria orgânica 3,7%. No geral, este grupo está localizado em desembocaduras fluviais, no canal com profundidades maiores e velocidades de correntes de maré de até  $1,2 \text{ m.s}^{-1}$ , além de estar na região do canal da Cotinha e próximo a desembocadura do estuário (Fig. 5).

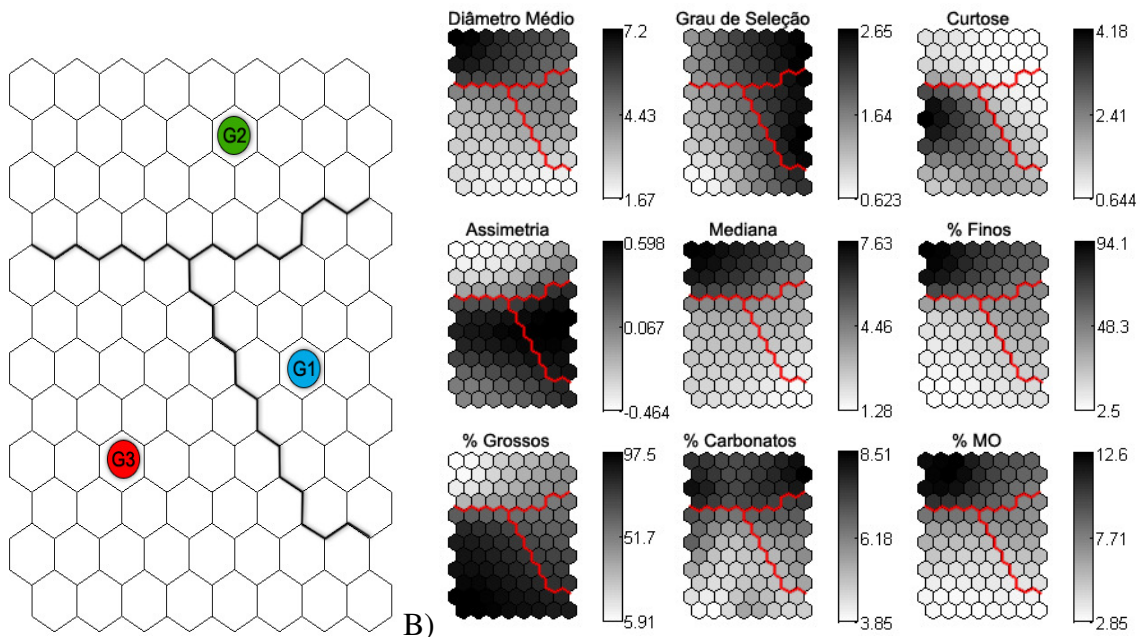




**Figura 5-** Mapa de distribuição dos três grupos do ano de 1995 gerados pelos mapas auto-organizáveis (SOM) em relação aos pontos de amostragem ao longo do segmento E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), com as batimetria e velocidades de correntes de maré indicadas.

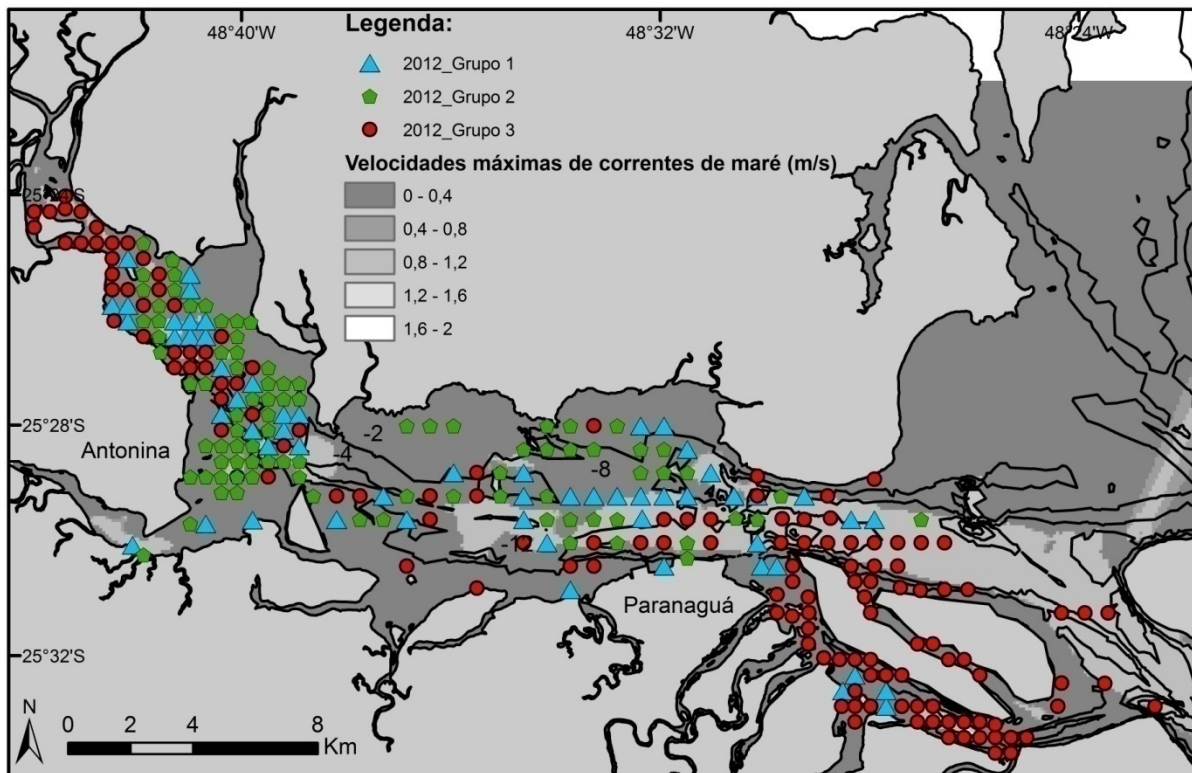
Com relação aos dados de 2012, o grupo 1, contendo 58 amostras, é formado por areias muito finas, muito pobremente selecionadas, com assimetria muito positiva e mesocúrticas, carbonatos e matéria orgânica de 6,3 e 6,0% respectivamente. Está localizado na baía de Antonina e na região de mistura do estuário, próximo a ilha dos Gererês e a Paranaguá.

O grupo 2, contendo 89 amostras, é formado por siltes médios, pobremente selecionados, com assimetria muito negativa, com curtose platicúrtica com porcentagem de 7,7% de carbonatos, associada às maiores de sedimentos finos e matéria orgânica, com 78,6% e 11%, respectivamente. Este grupo está localizado principalmente em regiões rasas com baixas velocidades de corrente de maré ( $0,4$  a  $0,8 \text{ m.s}^{-1}$ ), além de áreas de planícies de maré e em Antonina.



**Figura 6** - (A) Classificação dos 284 locais de amostragem através do processo de aprendizagem dos mapas auto-organizáveis (SOM). (B) Representação individual das variáveis modeladas pelo SOM, sendo o diâmetro médio em  $\Phi$ ,

O grupo 3 contendo 137 amostras, é formado por areias finas, pobremente selecionadas, com assimetria muito positiva e muito leptocúrticas. Apresenta 96% das amostras de grossos em média, 4,94% de carbonatos e 3,85% de matéria orgânica. Está localizado próximo a desembocadura do estuário, ao canal da Cotinha e as desembocaduras fluviais (Fig 7).



**Figura 7-** Mapa de distribuição dos três grupos do ano de 2012 gerados pelos mapas auto-organizáveis (SOM) em relação aos pontos de amostragem ao longo do segmento E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), com as batimetria e velocidades de correntes de maré indicadas.

Já com o uso da ferramenta de geoprocessamento Cut/Fill foram feitas comparações entre as os dados totais dos três conjuntos de dados (1966/1995 e 1995/2012), com as adequações a malha de 1966. Nas comparações entre os anos de 1966/1995 e 1995/2012, foi possível observar mudanças nas características sedimentares como o diâmetro médio. Nos dados referentes ao ano de 1966, o eixo central da baía de Antonina apresentou predomínio dos sedimentos arenosos, com aumento da granulometria em direção à cabeceira do estuário e a ocorrência de areias muito finas e siltes grossos.

Em 1995, as margens norte e sul da região de Antonina apresentaram areias finas a muito finas com regiões de siltes grossos e médios em áreas de planícies de maré. A margem norte que em 1966 era ocupada por siltes médios e finos, passou a apresentar areias muito finas com porções de siltes grossos em 1995 (Fig. 8). Em 2012, observou-se aumento no diâmetro médio na região do rio Cachoeira. Em Paranaguá, observaram-se sedimentos mais finos localizados em áreas rasas do estuário (-5m) variando entre as areias muito finas e os siltes grossos.



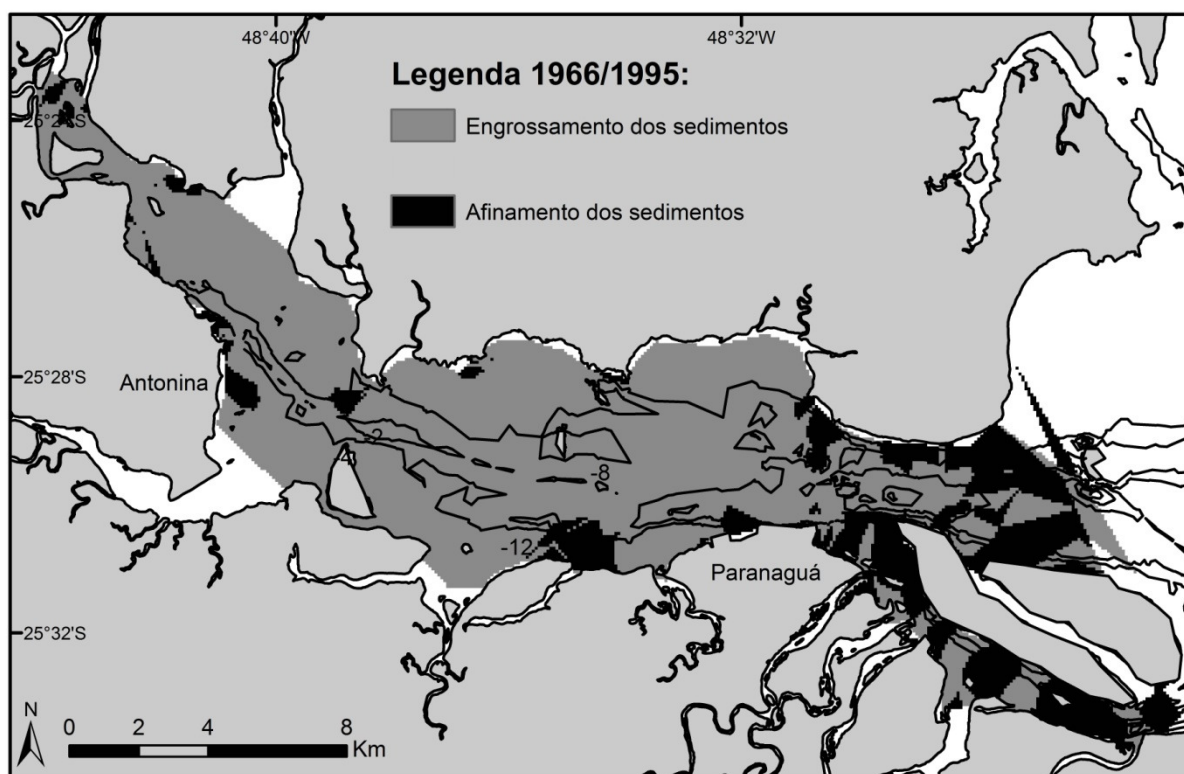


Figura 8 - Comparação do diâmetro médio dos sedimentos de fundo das regiões de Paranaguá e Antonina entre os anos de 1966 e 1995.

Na região de Antonina, entre os anos de 1966/1995, os sedimentos, em geral, passaram de siltes grossos para areias finas e entre os anos de 1995/2012 de areias finas para areias médias. Entretanto, na região de Paranaguá, entre os anos de 1966/1995, o diâmetro médio variou de silte grosso para areias finas e em 2012 os sedimentos apresentaram variações entre siltes grossos e areias muito finas (Fig. 9).

Em Paranaguá, na comparação 1966/2012, é possível observar afinamento dos sedimentos também em áreas mais profundas (-10 e -12m) localizadas no canal e também esse afinamento pode ser observado nas desembocaduras fluviais em Antonina, em contraposição à comparação 1995/2012.

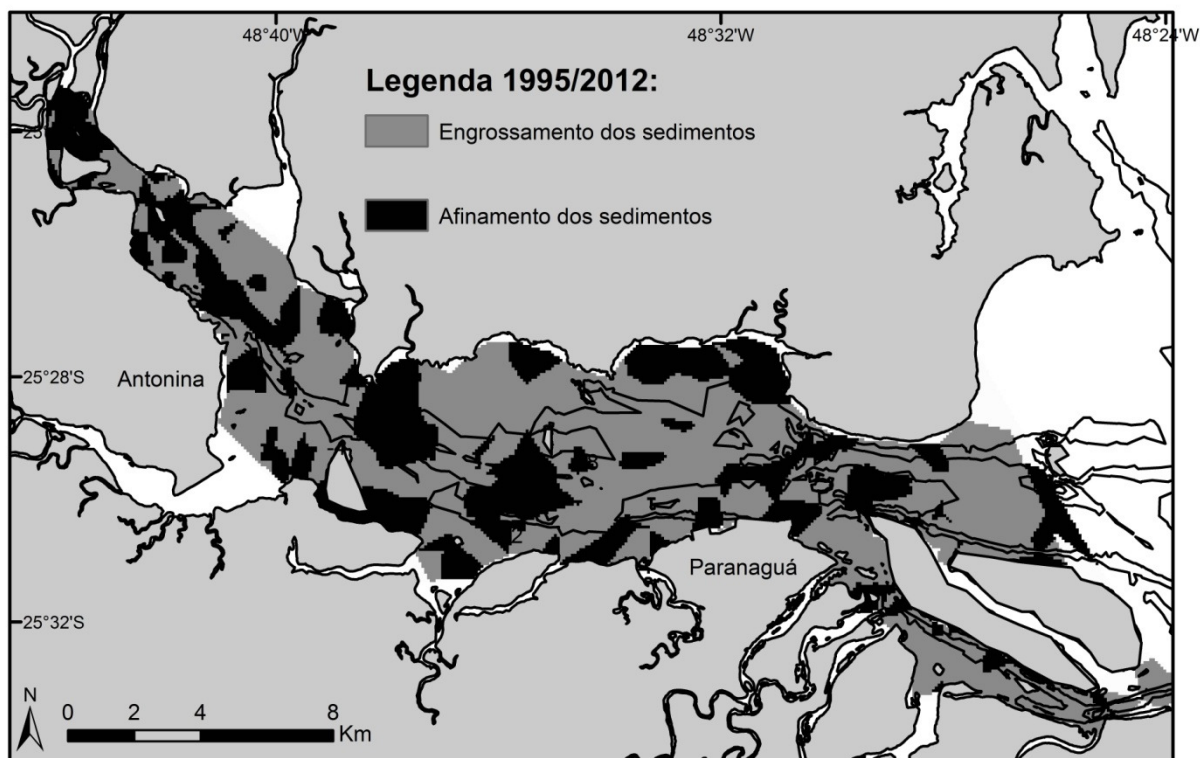


Figura 9 - Comparação do diâmetro médio dos sedimentos de fundo das regiões de Paranaguá e Antonina entre os anos de 1995 e 2012.

## 5. DISCUSSÃO

A comparação das características dos sedimentos de fundo entre os anos de 1966, 1995 e 2012 mostrou diferenças no diâmetro médio, onde, em geral, houve um aumento com o passar dos anos principalmente na baía de Antonina. A separação em fácies sedimentares mostrou que, por exemplo, o grupo 3 de cada conjunto de dados, o qual representa os sedimentos mais grossos encontrados, passaram de areias muito finas em 1966 para areias finas em 1995 e 2012. Similar ao que ocorre com o grupo 2, que representa os sedimentos mais finos encontrados, mudaram de siltes finos em 1966 para siltes médios em 1995 e 2012, mostrando essa tendência geral de aumento do diâmetro médio. Os grupos foram divididos dessa forma para melhor visualização espacial das mudanças das características sedimentares ao longo do tempo.

Dentre os diversos fatores que podem ter gerado estas diferenças, devem ser considerados com maior atenção o intervalo de tempo transcorrido entre as amostragens, as malhas amostrais, os métodos de análises laboratoriais, possíveis mudanças ambientais,

pluviosidade, dragagens, obras costeiras nas margens do estuário e mudanças nas forçantes físicas na massa de água estuarina.

Esse aumento é mais evidente entre 1966 e 1995 do que entre os anos de 1995 e 2012, sendo o período de tempo transcorrido entre os conjuntos de dados (29 e 17 anos, respectivamente) um possível fator que contribuiu para que esse aumento ficasse mais claro na primeira comparação, apesar de que podem ocorrer, por exemplo, fluxos episódicos que são difíceis de serem mensurados e estão alheios a essa diferença de tempo transcorrido entre os conjuntos de dados comparados.

Com relação às malhas amostrais e análises laboratoriais, algumas providências foram tomadas visando diminuir essas possíveis diferenças, como adequação das malhas de 1995 e 2012 com a de 1966, análise dos diagramas de frequência das fácies formadas buscando encontrar possíveis inconsistências, como os carbonatos, por exemplo, que não foram removidos dos conjuntos de dados de 1966 e 2012 e que podem influenciar no aumento do diâmetro médio com relação a 1995.

Odreski et al. (2003) também observou esse aumento no tamanho do diâmetro do grão entre 1966 e 1995 na região de Antonina e nessa ocasião discutiram outras causas que podem estar associadas às mudanças ocorridas como desmatamentos na Mata Atlântica, aumentando fontes de matérias passíveis de transporte e, conseqüentemente, o aporte sedimentar nos rios que deságuam em Antonina.

Diversos autores (Bigarella et al., 1978; Odreski et al., 2003; Paula e Cunico, 2005; Gonçalves et al., 2005; Paula, 2010) relacionam a construção da Usina Hidrelétrica Parigot de Souza (UPS), na região da cabeceira do estuário, no município de Antonina no ano de 1970 e o descarte no Rio Cachoeira da água usada na geração de energia através de um Canal de Fuga (Bandeira, 2007) com o aumento da vazão e da capacidade de carga de transporte desse rio, elevando aporte de material na porção superior da Baía de Antonina, sendo esse o principal motivo do assoreamento na região. Essa foi uma obra importante, além das dragagens periódicas que ocorrem no segmento E-W do CEP, que contribui para as mudanças nas características granulométricas, porém é necessário também avaliar os fatores ambientais.

Em geral, a variação dos parâmetros granulométricos ao longo dos anos pode estar associada ao aporte sedimentar já que ambientes estuarinos estão submetidos ao aporte de rios, carga de materiais e pluviosidade que influenciam na distribuição e transporte dos sedimentos (Perillo, 1995). No caso do Complexo Estuarino de Paranaguá, a pluviosidade considerada significativa na região (de 2.000 a 3.600 mm por ano) pode ser um fator importante para o aporte sedimentar e carreamento de sedimentos.

Vanhoni (2009) caracterizou o regime pluviométrico da região e encontrou aumento da pluviosidade em 1983 (3100 mm) e 1998 (3100 mm) e uma queda em 1985 (1700 mm) e 2001 (2600 mm), sendo que os menores valores encontrados entre o intervalo de tempo 1996/2006 são maiores que o 1977/1995, o que pode ter contribuído para o carreamento de sedimentos finos na comparação entre os anos de 1995/2012.

Um fator que deve ser levado em consideração quanto à pluviosidade também são os eventos episódicos como as chuvas convectivas. Para exemplificar a importância dessas chuvas no processo de carreamento de material sedimentar à baía de Antonina, tomou-se o evento ocorrido em 27/11/2006 na bacia do rio do Pinto (afluente do rio Nhundiaquara), quando foram registrados 70,6 mm em 24 horas, na estação pluviométrica de Morretes. Esse evento resultou no registro de uma vazão de  $49,7 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  nesta bacia, valor aproximadamente 15 vezes superior à vazão média identificada para o ano de 2006 (Paula, 2010). Desta maneira, na comparação entre os anos de 1995 e 2012, pela ferramenta Cut Fill, onde foi possível observar afinamento em diversas regiões como áreas mais profundas do segmento E-W (canal com -10m e -12 m), nas desembocaduras fluviais em Antonina, em contra-oposição a comparação 1966/1995, pode-se inferir a importância também desses eventos episódicos no carreamento sedimentar.

Esses eventos podem estar relacionados aos fenômenos de El Niño e da La Niña que ocasionam adversidades associadas com aumento do total pluviométrico e que podem acarretar episódios de enchentes, enxurradas e deslizamentos, e consequentemente, transporte de materiais, sedimentos e fluxos de massa, como observados em Antonina e Morretes em eventos de chuva extrema.

Mais um fator ambiental importante na produção e disponibilização de sedimentos para o estuário estudado refere-se à elevada suscetibilidade geopedológica a movimentos de massa e processos erosivos nas bacias hidrográficas situadas à montante. Paula (2010) estimou a produção de  $40,3 \text{ t.km}^{-2}.\text{a}^{-1}$ , na bacia do rio do Marumbi (afluente do rio Nhundiaquara), num cenário em que a totalidade da área era recoberta por vegetação natural. Este valor retrata a elevada suscetibilidade da região, já que de acordo com Shen e Julien (1992) o fluxo típico de sedimentos refere-se a  $24,6 \text{ t.km}^{-2}.\text{a}^{-1}$  em regiões vegetadas.

A relação da caracterização dos sedimentos de fundo em estuários e a disposição das suas zonas de deposição são discutidas por diversos autores (Vieira et al., 2008; Lessa e Dias, 2009; Barros et al, 2010; Carneiro e Lamour, 2010). A relação encontrada é que áreas mais profundas e que possuem uma maior ação hidrodinâmica apresenta sedimentos mais grossos (areias) e bem selecionados. Enquanto que as zonas mais rasas, com baixa hidrodinâmica,

caracterizam-se pela deposição de sedimentos finos (siltes e argilas), marcados pela seleção ruim e com teores elevados de matéria orgânica. Em geral, esse padrão também foi encontrado, porém algumas exceções principalmente na região próxima ao Porto de Paranaguá, que é caracterizada pela zona de máxima turbidez (ZMT) ou zona de mistura desse estuário.

Essa ZMT foi identificada por estudos anteriores na região entre a Ilha do Teixeira e o Porto de Paranaguá e observaram sua migração longitudinal (ao longo do canal) durante o ciclo de maré semidiurna característica deste estuário (Mantovanelli, 1999; Noernberg, 2001; Zem, 2008). Como os sedimentos na ZMT variam em função da descarga dos rios e da ação diferenciada das correntes de maré de sizígia e de quadratura, ela está sujeita a uma grande variabilidade temporal e espacial relacionadas à intensidade das correntes de maré, aos processos de advecção e ressuspensão e às características intrínsecas das partículas (Mantovanelli, 1999), desta forma, foi possível observar uma heterogeneidade com relação aos grupos próximos a essa região.

Os sedimentos de fundo para a cabeceira do estuário, apresentam sedimentos finos e grossos associados à desembocadura fluviais (Lamour et al., 2004). Este ambiente possui uma vasta área que apresenta baixas profundidades (Odreski et al., 2003) e uma baixa energia pelas correntes de maré com intensidade branda. Devido a isso ocorre a deposição de sedimentos, a formação de extensos manguezais e baixios abundantes na região (Noernberg e Lana, 2002), os quais, segundo (Perillo, 1995), são as áreas mais propícias a agregar sedimentos desta espécie (Cattani e Lamour, 2013).

Os mesmos autores concluem que estes sedimentos muito pobremente selecionados sugerem a atuação de diferentes processos de sedimentação, com influência de diversos fatores como períodos de maior vazão dos cursos de água, amplitude de marés e correntes. Nesse trabalho foi possível observar sedimentos mais finos com maior porcentagem de matéria orgânica em regiões mais abrigadas e planícies de maré e sedimentos mais grossos próximos às desembocaduras, deposições fluviais e no canal principal do estuário.

Este trabalho mostra a importância de integração entre dados estatísticos, geoprocessamento e a sedimentologia para tentar entender e identificar ambientes distintos de deposição em ambientes estuarinos. Além disso, o estudo de evolução sedimentar ao longo do tempo se mostra importante para manejo de operações de dragagens e despejo que ocorrem na região ou mesmo para a conservação e manejo do habitat e unidades de conservação estabelecidas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bandeira, V. P. S. 2007. Licenciamento ambiental e a categoria de totalidade: um estudo de caso. In: Boldrini, E. B.; Soares, C. R., Paula, E. V. (Org). *Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental*. Antonina: ADEMADAN/UNIBEM/SEMA/Governo do Estado do Paraná, p 232-243.
- Barros, L. C.; Valença, L. M. M.; Souza Neto, J. A.; Madruga Filho, J. D.; Coito Junior, R. 2010. Mapeamento e quantificação das fácies texturais nos estuários da região interna de Suape - PE. *Revista de Geografia. UFPE – CG/NAPA*, Recife.
- Bigarella, J. J. Becker, R. D.; Matos, D. J.; Werner, A. 1978. *A Serra do Mar e a Porção Oriental do Estado do Paraná*. Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento, Governo do Paraná.
- Carneiro, J. C. e Lamour, M. R. 2010. Identification of relicts sediments in the Superagüi Channel (Paraná, Brazil): preliminary results. 18th International Sedimentological Congress - Mendoza, Argentina.
- Cattani, P. E. e Lamour, M. R. 2013. Considerations regarding the sedimentation rates along the Paranaguá Estuarine Complex: a Bathymetric approach. Submetido.
- Chon, T. S.; Park, Y.S.; Moon, K. H.; Cha, E.Y. 1996. Patternizing communities by using an artificial neural network. *Ecological Modelling* 90, 69-78.
- Dyer, K.R. 1989. Sediment processes in estuaries: future research requirements. *Journal of Geophysical Research, Columbia*, v.94, n. 14, 327-339.
- Dyer, K. R. 1995. Sediment transport processes in estuaries. In: Perillo, G.M.E. (ed.). *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Developments in Sedimentology*, n. 53. Elsevier, p. 423-449.
- Dyer, K.R. 1997. *Estuaries: A Physical Introduction*. 2 ed., Chichester, John Wiley & Sons, 195 p.

533 Folk, R. L. e Ward, W. C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size  
534 parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27:3-26.  
535

536 Gonçalves, J. E.; Paula, E. V.; Oliveira, A. C.; Nocko, H. R.; Reksidler, R. 2005. Modelagem  
537 Hidrodinâmica e de Transporte de Sedimentos na Baía de Antonina. Antonina:  
538 ADEMADAN. Relatório Técnico Terminais Portuários Ponta do Felix. 43 p.  
539

540 Kohonen, T., 1995. *Self-Organising Maps*. Springer, Berlin.  
541

542 Kohonen, T. 2001. *Self-Organizing Maps*, 3rd edn. Springer-Verlag, Berlin, Germany.  
543

544 Kung S., 1993. *Digital neural networks*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.  
545

546 Lamour, M. R.; Soares, C. R.; Carrilho, J. C. 2004. Mapas de parâmetros texturais de  
547 sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR. *Boletim Paranaense de*  
548 *Geociências*, v. 55, p. 77.  
549

550 Lamour, M. R.; Soares, C. R. 2008. A “Barra de Paranaguá” e a Evolução Batimétrica do  
551 delta de maré vazante na Desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá (PR). In E. B.  
552 Boldrini, C. R. Soares, & E. V. D. Paula (Eds.), *Dragagens Portuárias no Brasil: Engenharia,*  
553 *Tecnologia e Meio Ambiente*. (pp. 69-87). Antonina: ADEMADAN/UNIBEM/Secretaria de  
554 *Ciência e tecnologia para Inclusão social*.  
555

556 Lana, P. C., Marone, E., Lopes, R. M., Machado, E. C., 2000. The subtropical estuarine  
557 complex of Paranaguá Bay, Brazil, In *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*, Seeliger,  
558 U., Lacerda, L. D., Kjerfve, B. (eds.), Springer Verlag, NY, USA, 467p.  
559

560 Lek, S., Guégan, J.F., 1999. Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an  
561 introduction. *Ecological Modelling* 120, 65-73.  
562

563 Lessa, G. e Dias, K. 2009. Distribuição espacial das litofácies de fundo da Baía de Todos os  
564 Santos. *Quaternary and Environmental Geosciences* (2009) 01(2):84-97  
565

- Lippmann, R.P. 1987. An introduction to computing with neural nets, BEE ASSP Magazine, 4(2):4-22.
- Maack, R. 1968. Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba: Banco BADEP, UFPR, IBPT, 350 p.
- Mantovanelli, A. 1999. Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem. Curitiba, 152 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
- Marone, E.; Mantovanelli, A.; Noernberg, M. A.; Klingenfuss, M. S.; Lautert, L. F. C.; Prata Junior, V. P. 1997. Caracterização física do complexo estuarino da Baía de Paranaguá. Relatório consolidado do convênio APPA/CEM. Pontal do Sul: UFPR.
- Marchall, A. 2004. Etude de l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant de Cachoeira, Paraná, Brésil: Contribution à l'étude des causes de l'envasement d'une baie. Paris, 97 f. Mémoire de DEA (Mondes Tropicaux), Ecole Doctorale de Géographie de Paris.
- McManus, J. 1998. Temporal and Spatial Variations in Estuarine Sedimentation. Estuaries, 21(4), 622-634.
- Molisani, M. M.; Kjerfve, B.; Barreto, R.; Lacerda, L. D., 2007. Landsea Mercury transport through a modified watershed, SE Brazil. Water Research, 41: 1929-1938.
- Noernberg, M. A. 2001. Processos Morfodinâmicos no complexo Estuarino de Paranaguá, Paraná, Brasil: Um estudo a Partir de Dados *in situ* e LANDSAT – TM. Tese (doutorado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Noernberg, M. A.; Lautert, L. F. de C.; Araujo, A. D. de; Odreski, L. L. 1997. Base de dados digital do litoral paranaense em Sistema de Informações Geográficas. Nerítica, Curitiba, v.11, p.191-195.



Noernberg M. A. e Lana, P. C. 2002. A sensibilidade de manguezais e marismas a impactos por óleo: fato ou mito? Uma ferramenta para a avaliação da vulnerabilidade de sistemas costeiros a derrames de óleo. *Geografares (Vitória)*, Vitória, v. 3, p. 109-122.

Odreski, L. L.; Soares, C. R.; Angulo, R. J.; Zem, R. C. 2003. Taxas de assoreamento e a influência antrópica no controle da sedimentação da baía de Antonina – Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, v.53 p. 7-12.

Oka-Fiori, C.; e Canali, N. E. Mapeamento Geomorfológico. 1998. In: Renato E. de Lima; Raquel E. B. Negrele (org). *Meio Ambiente e Desenvolvimento do Litoral do Paraná – Diagnóstico*. Curitiba, v. 1, p. 51 – 62

Park, Y.S.; Céréghino, R.; Compin, A.; Lek, S. 2003. Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters. *Ecological Modelling* 160, 265-280.

Paula, E. V.; Cunico, C. 2005. O assoreamento das baías de Antonina e Paranaguá e a gestão de suas bacias hidrográficas. In: Boldrini, E. B.; Soares, C. R.; Paula, E. V.(Orgs.). *Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental*. Antonina: Governo do Estado do Paraná; SEMA/PR; ADEMADAN; UNIBEM.

Paula, E. V. 2010. *Análise da Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina/PR: uma abordagem geopedológica*. Tese doutorado Geografia. UFPR, 168 p.

Paula, E. V; Santos, L. J. C.; Uber, J. A. Análise da Suscetibilidade Geopedológica à Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina/PR. *Revista de Geografia*. Recife: UFPE – DCG/NAPA. v.especial VIII SINAGEO, n.2, p.134-147. (doc. 4.25)

Perillo, G. M. E. 1995. Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries. In Perillo, G. M. E. (Ed.). *Geomorphology and sedimentology of Estuaries*. The Netherlands: Elsevier Science B.V. p 17-47.

Perillo, G. M. E e Syvitski, J. P. M. 2010. Mechanisms of sediment retention in estuaries. Estuarine, Coastal and Shelf Science.v.87, p. 175-176.

Petrobrás. 1997. Estudos ambientais em áreas oceânicas e costeiras no sul do Brasil. CD-ROM.

Prandle, D., Lane, A.; Manning, A. J. 2006. New typologies for estuarine morphology .Geomorphology, 81(3-4), 309-315.

Rumelhart, D., Hinton G. E., Williams R. J., 1986. Learning internal representations by error propagation, in parallel Distributed Processing, vol. 1, chap. 8, edited by D. E. Rumelhart and J. L. McClelland, MIT Press, Cambridge, Mass.

Shen, H. W. e Julien, P. 1992. Erosion and sediment transport. In: Maidment, D. R. (Ed.). Handbook of hydrology. McGraw-Hill.p.12.1-12.61.

The Mathworks Inc., 2011. MATLAB Version 7.12. The Mathworks, Inc., Massachusetts.

Utsch, A. e Siemon, H.P. 1990. Kohonen's self organizing feature maps for exploratory data analysis. In: Proceedings of INNC'90, International Neural Network Conference. Kluwer Publications, pp. 305–308.

Uncles, R. J., Stephens, J.A., Law, D.J. 2006. Turbidity maximum in the macrotidal, highly turbid Humber Estuary, UK: flocs, fluid mud, stationary suspensions and tidal bores. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Amsterdam, v.67, p.30-52.

Vanhoni Jorge, F. Fachada Atlântica Sul do Brasil: dinâmica e tendências climáticas regionais no contexto das mudanças globais. 2009. Dissertação de mestrado para o curso de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Vesanto J.; Himberg J.; Alhoniemi E.; Parhankangas J. 1999. Self-organising map in Matlab: the SOM Toolbox. In: Proceedings of the Matlab Digital Signal Processing Conference. Espoo, Finland, 35–40.

666 Vesanto, J.; Himberg, J.; Alhoniemi, E.; Parhankangas, J. 2000. SOM Toolbox for Matlab 5.  
 667 Technical Report A57. Neural Networks Research Centre, Helsinki University of Technology,  
 668 Helsinki, Finland.  
 669  
 670 Vieira, C. V.; Filho Horn, N. O.; Bonetti, C. V. D. H. C.; Bonetti, J. 2008. Caracterização  
 671 morfosedimentar e setorização do Complexo Estuarino da Babitonga/ SC. Boletim Paranaense  
 672 de Geociências, n. 62-63. P. 85-105. Editora UFPR.  
 673  
 674 Ward, J. H., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the  
 675 American Statistical Association 58, 236.  
 676  
 677 Widdows, J., Brown, S., Brinsley, M. D., Salkeld, P. N., & Elliott, M. 2000. Temporal  
 678 changes in intertidal sediment erodability: influence of biological and climatic factors.  
 679 Continental Shelf Research, 20, 1275-1289.  
 680  
 681 Zem, R. C. 2008. Hidrodinâmica e fluxo de Material Particulado em Suspensão na região  
 682 estuarina da Baía de Paranaguá-PR. 155 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica  
 683 Marinha) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói

## APENDICÊ

	1966			1995			2012		
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
<b>Diâmetro médio</b>	Siltes médios	Siltes finos	Areias muito finas	Siltes grossos	Siltes médios	Areias finas	Areias muito finas	Siltes médios	Areias finas
<b>Grau de seleção</b>	Muito pobremente selecionados	Pobremente selecionados	Pobremente selecionados	Pobremente selecionados	Pobremente selecionados	Pobremente selecionados	Muito pobremente selecionados	Pobremente selecionados	Pobremente selecionados
<b>Assimetria</b>	Aproximadamente simétrica	Positiva	Muito positive	Positiva	Muito negativa	Positiva	Muito positiva	Muito negativa	Muito positiva
<b>Curtose</b>	Platicúrtica	Mesocúrtica	Muito leptocúrtica	Platicúrtica	Mesocúrtica	Muito leptocúrtica	Mesocúrtica	Platicúrtica	Muito leptocúrtica
<b>Mediana</b>	6,197	6,146	2,880	4,001	5,798	2,429	2,699	6,711	2,329
<b>% Finos</b>	69,578	79,422	22,010	48,678	79,847	13,860	33,075	78,626	9,039
<b>% Grossos</b>	28,181	20,689	77,895	51,341	20,233	86,071	66,925	21,374	90,961
<b>% Carbonatos</b>	5,076	6,269	5,803	6,722	8,513	6,182	6,321	7,677	4,949
<b>% MO</b>	7,485	9,966	4,675	9,244	12,759	3,737	6,050	11,006	3,851

# 1    **CAPÍTULO III**

## 3    **TENDÊNCIAS DE TRANSPORTE SEDIMENTAR AO LONGO DO** 4    **SEGMENTO E-W DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ**

### 6    **GRAIN SIZE TRENDS ANALYSIS ALONG THE SEGMENT E-W PARANAGUÁ** 7    **ESTUARINE COMPLEX**

9    **Revista pretendida:** Geomorphology, ISSN (0169-555X), Fator de Impacto (JCR,  
10    2011) = 2. 2.520, Qualis CAPES = Estrato A2.

## 12    **RESUMO**

14    Os programas de geração de vetores de tendências de transporte de sedimentos (GSTA e  
15    GSTAST), baseados em parâmetros granulométricos (média granulométrica, desvio  
16    padrão e assimetria) de sedimentos foram aplicados no segmento E-W do Complexo  
17    Estuarino de Paranaguá (CEP) em diferentes conjuntos de dados (1966, 1995 e 2012). O  
18    litoral do Paraná apresenta características geológicas e geomorfológicas marcantes, as  
19    quais definem ambientes deposicionais distintos, sendo que a comparação das  
20    tendências de transporte sedimentar entre os anos de 1966, 1995 e 2012 mostrou, em  
21    geral, na região de Antonina, vetores em direção às áreas rasas, além de aporte de  
22    sedimentos do Rio Cachoeira e Nhundiaquara. Na região intermediária e zona de  
23    máxima turbidez do estuário, em Paranaguá, em geral, apresentou uma tendência de  
24    transporte sedimentar das margens em direção ao canal principal e dragado. Em 2012,  
25    houve uma tendência deposicional, já no setor externo, as tendências de transporte  
26    foram em direção aos canais, próximo ao Canal da Cotinga. Desta forma, o trabalho tem  
27    por objetivo identificar os padrões de transporte sedimentar do segmento E-W do CEP  
28    por diferentes métodos (amostras totais e amostras divididas em fácies sedimentares) e  
29    suas possíveis mudanças ao longo de um curto intervalo de tempo (45 anos),  
30    relacionando com características ambientais, geomorfológicas, sedimentológicas e  
31    antrópicas como dragagens e construções de barreiras e usinas hidrelétricas.

**Palavras chave:** tendências de transporte, GSTA, GSTAST

## **ABSTRACT**

The paper presents the results of implementation the programs GSTA and GSTAST that generating vector transport trend analysis, based on particle size distribution sediments parameters (grain size, standard deviation and skewness) of the segment E-W Estuarine Complex of Paranaguá in different chronological times 1966, 1995 and 2012. The coast of Paraná presents geological and geomorphological striking, which define distinct environments depositional and the comparison of grain size transport trends between the years of 1966, 1995 and 2012 showed, in general, in the region Antonina, vectors toward shallow areas, Cachoeira and Nhundiaquara rivers are sinking sediments. In the intermediate region and ZMT in Paranaguá, in general, tended to sediment transport margins toward the main dredged channel. In 2012, there was a trend depositional already in the external sector, transport trends were toward the channel, near the Channel Cotinga. Thus, the study aims to identify patterns of sediment transport segment E-W by different methods (samples and samples divided into sedimentary groups) and possible changes over a short period of time (45 years) relating to environmental features as geomorphological, sedimentological and anthropogenic process as dredging and construction of hydroelectric dams and barriers.

**Key words:** grain size trends, GSTA, GSTAST

## **1. INTRODUÇÃO**

A análise das tendências de transporte em áreas compostas por vários subambientes podem fornecer pistas a respeito das inter-relações ambientais já que a distribuição granulométrica depende de como cada mecanismo de transporte seleciona os grãos e posteriormente os deposita (Lamour, 2007). Os processos de erosão e deposição sedimentar envolvem diversas variáveis (clima, padrão de ondas, correntes de maré e intervenção humana), além das características da fonte e do sítio deposicional.

64            Desta forma, diversos autores (Pettijohn et al., 1972; McCave, 1978;  
65    Maclaren,1981; Maclaren e Bowels, 1985; Gao e Collins,1991; 1992; Le Roux, 1994a;  
66    1994b; Gao,1996; Pedreros et al., 1996; Chang et al., 2001) discutem que a média  
67    granulométrica, o grau de seleção e a assimetria dos grãos são parâmetros importantes  
68    para a determinação da direção de transporte de material em um ambiente deposicional.  
69    Também ressaltam a importância que as variações dos parâmetros granulométricos  
70    exercem ao longo do transporte sedimentar relacionando as características da fonte e do  
71    sítio deposicional.

72            Nesse sentido, MacLaren (1981) sugeriu que para a interpretação relativa das  
73    mudanças devem ser considerados que o depósito é produto de uma única fonte, sendo  
74    que as tendências de transporte ocorrem em dois casos principais: no caso um o  
75    depósito será mais fino, melhor selecionado e com assimetria mais negativa que a fonte,  
76    representando baixa transferência de energia, enquanto que no caso dois o depósito será  
77    mais grosso, melhor selecionado e com assimetria mais positiva que a fonte,  
78    representando alta transferência de energia.

79            Gao e Collins (1991) com uma análise crítica do trabalho de MacLaren e Bowles  
80    (1985), afirmaram que os resultados obtidos sobre a geração de vetores de transporte  
81    podem ser influenciados pelos procedimentos de amostragem, hidrodinâmica local e a  
82    razão de deposição sedimentar. Segundo Gao e Collins (1992) quatro tendências de  
83    transporte sedimentar são associadas às direções de transporte:

- 84            • Tipo 1: mais fino, melhor selecionado e assimetria mais negativa;
- 85            • Tipo 2: mais grosso, melhor selecionado e assimetria mais positiva;
- 86            • Tipo 3: mais grosso, melhor selecionado e assimetria mais negativa, e
- 87            • Tipo 4: mais fino, melhor selecionado e assimetria mais positiva.

88            O mapeamento da faciologia dos sedimentos e do padrão de transporte a partir  
89    da aplicação de modelos de tendências granulométricas tem sido realizado para  
90    promover maior entendimento de padrões sedimentológicos (Coimbra et al. 1980,  
91    Grunn e Ruessink 2005; Dadalto e Albino, 2009). Para tanto, os padrões de distribuição  
92    de tamanho dos sedimentos superficiais representam uma resposta temporal do  
93    substrato aos processos de transporte sobre uma escala de tempo de ao menos duas  
94    estações. Segundo Liu e Hou (1997) uma associação de grupos de tamanho de grão com  
95    feições topográficas sugere relações morfo-texturais.

96            O litoral do Paraná apresenta características geológicas e geomorfológicas  
97    marcantes, as quais definem ambientes deposicionais distintos. No geral, ocorre uma

pequena extensão de costa oceânica sem influência de desembocaduras ( $\approx 100$  km; disposta em meio a uma planície costeira desenvolvida nas flutuações do nível relativo do mar durante o período Quaternário. Neste mesmo contexto, os processos de erosão, transporte e deposição construíram dois corpos estuarinos distintos tanto por suas áreas quanto pela utilização econômica, denominados de baía de Guaratuba ( $\approx 50$  km<sup>2</sup>) e de Complexo Estuarino de Paranaguá ( $\approx 600$  km<sup>2</sup>; CEP; Angulo e Araújo, 1996). O eixo E-W do CEP se destaca por diversos terminais portuários privados e estatais instalados e operando na sua margem sul, rivalizando com um mosaico de áreas de conservação na margem oposta (Soares e Lamour, 2008).

Desta maneira, as presenças dos portos de Paranaguá e Antonina geram a necessidade da dragagem periódica de um canal de acesso que corta o delta de desembocadura do CEP e, conseqüentemente, dados sobre transporte de sedimentos são importantes para a manutenção do canal. Angulo (1999) e Lamour (2000) fizeram considerações empíricas sobre o transporte de sedimentos na região, mas a aplicação de programas geradores de vetores de tendências de transporte pode contribuir para a evolução e entender o transporte sedimentar na região.

Este trabalho teve por objetivo identificar os padrões de transporte sedimentar do segmento E-W do CEP por diferentes métodos e suas possíveis mudanças ao longo de um curto intervalo de tempo (45 anos), os relacionando com características ambientais e influências antrópicas.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

As principais bacias hidrográficas do eixo E-W do CEP (Nhundiaquara, Cachoeira) drenam 58,1% da área total, que descarregam um volume de água de aproximadamente de  $178 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  nos meses de verão e de  $47 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  nos meses de inverno. Assim, a circulação estuarina local é regida pelas correntes de marés com influência sazonal do aporte fluvial (Mantovanelli et al., 2004; Paula e Cunico, 2007), sendo o CEP um estuário parcialmente misturado do tipo B, com heterogeneidades laterais e regime de maré semi-diurno (Marone e Jamiyanaa, 1997).

As características granulométricas dos sedimentos de fundo do CEP foram determinadas em diversas oportunidades (Bigarella et al., 1978; Odreski et al., 2003; Carrilho, 2003; Lamour, 2000; Lamour e Soares, 2007), entretanto a abordagem sempre



consistiu em mapeamentos de áreas segmentadas. Lamour et al. (2004) compilaram as informações gerando um mapeamento integrado, o que de uma forma geral corroborou com a visão de que os sedimentos de fundo do CEP caracterizam-se, entre outros aspectos, pelo aumento no diâmetro médio e a piora do grau de seleção a partir da sua cabeceira em direção a sua desembocadura.

Segundo Lessa et al. (1998) o eixo E-W do CEP apresenta uma segmentação, em três setores, na distribuição dos sedimentos de fundo. Na cabeceira do estuário (zona superior meandrante) encontram-se areias fluviais, no setor intermediário (zona de funil) predominam lamas, e na área de desembocadura encontram-se areias finas a muito finas bem selecionadas, com características marinhas. Assim, não há evidência de aporte de areias fluviais a partir da cabeceira do estuário para a área de desembocadura (Lessa et al., 1998; Odreski et al., 2003). Portanto, os sedimentos oriundos da plataforma continental são retrabalhados pelas forçantes oceanográficas neste ambiente, contribuindo para o assoreamento.

No estuário, os sedimentos são redistribuídos e depositados, com tendência de assoreamento principalmente oriunda da sua margem N, com taxas de sedimentação para a região de Antonina de 5,35 cm/mês/km<sup>2</sup> com redução das profundidades em até 2 m, onde se verifica a presença da foz das principais redes de drenagem da região (Cattani e Lamour, 2013).

Para o ambiente de Zona Máxima de Turbidez (ZMT), localizada nas adjacências do Porto de Paranaguá (cais acostável) foram encontrados alguns pontos de erosão e sedimentação através das taxas de assoreamento. Na região onde se concentram as rochas identificadas no interior do CEP foi encontrada uma taxa de erosão crônica, o que pode ser resultado do anteparo físico formado pelas rochas para as correntes de maré (Carrilho, 2003; Lamour et al, 2007; Cattani e Lamour, 2013).

Assim, pode ter havido a intensificação do fluxo de correntes de maré, intensificando o seu poder trativo, incorrendo na competência de carrear sedimentos. A área que apresentou a maior taxa de sedimentação para o ambiente de ZMT está localizada entre a Ilha dos Gererês e a Ilha do Teixeira, onde diversos autores (Mantovanelli, 1999; Noernberg, 2001; Zem, 2008) identificaram essa região com maior influência da ZMT. Segundo estes mesmos autores, esta área apresenta grande concentração de material particulado em suspensão aliado ao processo de floculação induzido pela mudança da salinidade, o que segundo Dyer (1995) resulta na rápida deposição dos sedimentos finos (Cattani e Lamour, 2013).

Lamour (2000; 2007) e Veiga et al. (2005) aplicaram vetores de tendências de transporte sedimentar para as regiões de desembocadura do CEP e plataforma interna do Paraná. Lamour (2000; 2007), considerando características morfológicas e hidrodinâmicas do banco da Galheta e o histórico das dragagens do canal artificial de acesso aos portos de Paranaguá e Antonina encontrou resultados corroborados com aos dados obtidos com sonar de varredura lateral da desembocadura sul do CEP. No caso da plataforma, Veiga et al (2005) afirmam que os vetores estão de acordo com o esperado na parte sul e central da área, sendo o GSTA o que obteve melhor resultado.

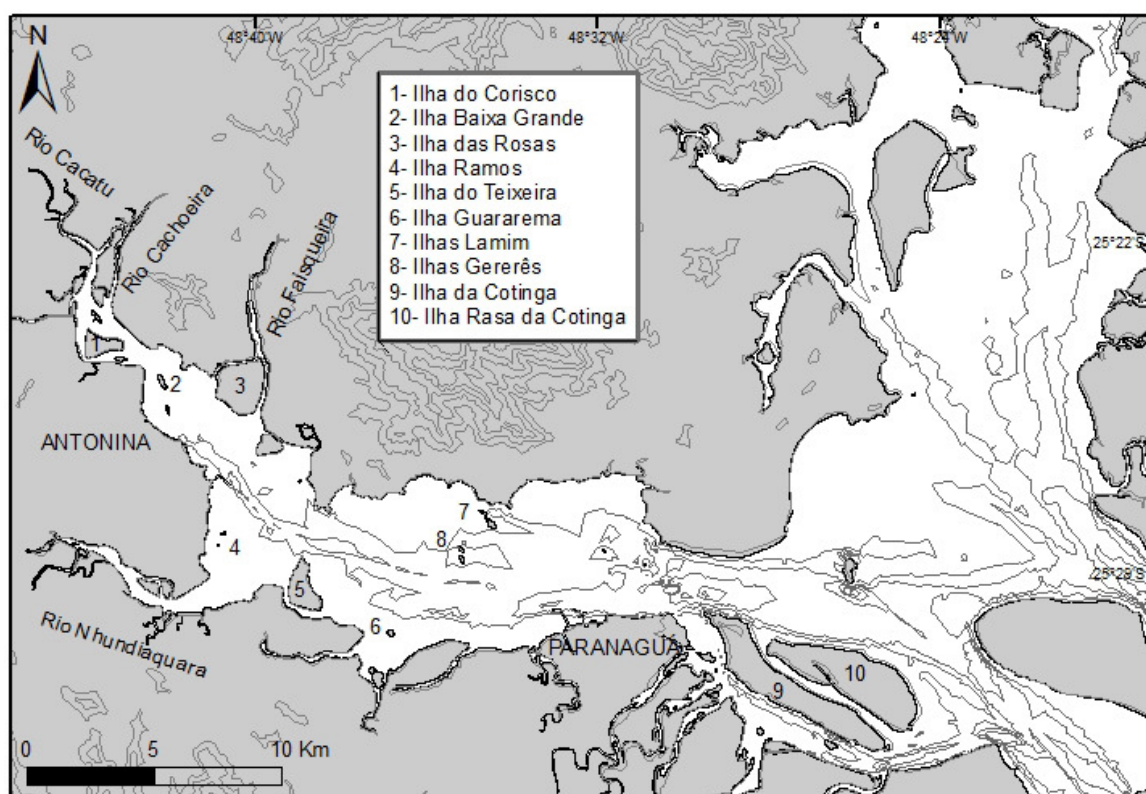


Figura 1- Mapa de localização do Complexo Estuarino de Paranaguá, com as principais ilhas do segmento E-W e rios que drenam a cabeceira do estuário.

Com relação a atividades antrópicas, o CEP vem sendo utilizado como área portuária desde o século XVI. A principal via de acesso navegável ao interior do estuário é o canal da Galheta, localizado na desembocadura sul, o qual corresponde a um transecto no eixo E-W do CEP abrangendo diferentes ambientes deposicionais (fluvial, estuarino e costeiro) inseridos nesta  rea. O canal da Galheta teve sua abertura completada em 1975, desde então possui problemas de assoreamento, pois este seccionou o maior delta de maré do litoral do Paraná identificado por Angulo (1999),

assim são efetuadas dragagens de manutenção no canal periodicamente (Soares e Lamour, 2008).

Outra influência antrópica ocorreu na região da cabeceira do estuário com a implementação da Usina Hidrelétrica Parigot de Souza (UPS), pertencente à Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), no município de Antonina no ano de 1970. Para a construção da usina, foram represadas as águas do rio Capivari, localizado no primeiro planalto a 830 metros acima do nível do mar, com a construção de uma barragem de terra de 58 metros de altura e 370 metros de comprimento, obtendo um desnível de 740 metros, sendo as águas conduzidas por um túnel subterrâneo de 15,4 km que atravessa a Serra do Mar. A água é transposta da bacia do rio Capivari, para o rio Cachoeira, com a construção de um canal de concreto denominado Canal de Fuga (Bandeira, 2007).

Além de alterar a paisagem da baía, ocorreu assoreamento acelerado nos últimos 30 anos e prejudicou a operação portuária do município, uma vez que diminui a profundidade do canal de acesso para navios de grande calado e torna necessária a realização de constantes dragagens (Bandeira, 2007). Desta maneira, as atividades antrópicas devem ser levadas em consideração em estudos de sedimentologia e tendências de transporte sedimentar.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de sedimentos de fundo foram obtidas com auxílio de um *Petite Ponar* sendo selecionadas amostras espacialmente semelhantes que foram padronizadas quanto ao *datum* horizontal e sistema de projeção (WGS84/UTMS). As análises granulométricas, em geral, foram realizadas pela técnica de pipetagem para os sedimentos finos ( $<0,062$  mm) e peneiramento para os sedimentos grossos ( $>0,062$  mm). Nas amostras de 1966, não foram eliminados os teores de carbonatos ( $\text{CO}_3$ ) e de matéria orgânica (MO), justamente o oposto do que ocorreu nas amostras referentes a 1995. Com relação aos dados de 2012, o tratamento prévio foi realizado com a eliminação da matéria orgânica. Foram observados os diagramas de frequência, modalidade das curvas e anotações de análises visuais macroscópicas e preservação dos carbonatos com intuito de avaliar os resultados obtidos das análises granulométricas.

Os dados obtidos no ano de 1966 (Bigarella et al., 1978) consistem em 311 amostras de sedimentos de fundo, com um espaçamento amostral variando entre 200 e 1.000 m. Os dados de 1995 (Petrobrás, 1997; Lamour et al., 2004), a amostragem foi realizada em forma de transectos totalizando 199 amostras, com espaçamento de aproximadamente 200 m e de 1500 m entre transecto. E em 2012, foram coletadas 284 amostras com malha variável, com espaçamento de aproximadamente 1000 metros.

Os parâmetros estatísticos granulométricos utilizados (média, grau de seleção e assimetria) foram calculados com o auxílio do SysGran 3.0 pelo método de Folk e Ward (1957). Posteriormente, foram processados nos *softwares* GSTA e GSTAST. Com relação ao GSTA (Gao, 1996), foi utilizado um fator A igual a 1 porque as coordenadas dos pontos são em UTM. Este *software* relaciona oito tipos básicos de tendências de transporte de materiais com comparação entre as características granulométricas de cada amostra e seus vizinhos com a geração dos vetores e a filtragem do ruído por vetores não representativos.

Já o GSTAST (Chang et al., 2001) foi proposto para o trabalho de Gao (1996) a utilização de um teste de significância nos vetores residuais, melhorando a representatividade das direções preferenciais de transporte de sedimentos. Neste trabalho, o intervalo de confiança adotado foi de 95% para obtenção dos vetores de tendências de transporte sedimentar. Estes foram plotados com o auxílio do *software* ArcGIS (ESRI), sendo que as amostras foram utilizadas em seu número total e também por grupos em fácies sedimentares. Os três grupos de semelhanças sedimentares ou fácies sedimentares para cada conjunto de dados foram separados através da ferramenta SOM (*Self Organizing Maps*) conforme sugerido por Carneiro et al., (2013).

Portanto, foi realizada a comparação de entre os três conjuntos de dados (1966, 1995 e 2012), com os dois *softwares* (GSTA e GSTAST) de duas formas, com todas as amostras e com as amostras divididas em fácies sedimentares.

#### 4. RESULTADOS

Para as todas as amostras de 1966, nos vetores de ambos os *softwares* (GSTA e GSTAST) foram possíveis observar, na região de Antonina, vetores que indicam aporte sedimentar a partir dos rios Cachoeira e Nhundiaquara em direção às regiões mais rasas quando avaliadas as condições batimétricas. No setor intermediário do segmento,

próximo ao porto de Paranaguá, foi possível observar a maioria dos vetores em direção ao canal principal, onde ocorrem as maiores profundidades. Já com relação ao setor externo, os vetores do GSTA indicaram tendências de transporte em direção aos canais da Cotinga e entre as ilhas da Cotinga e Rasa da Cotinga, enquanto que o GSTAST não apresentou nenhum vetor neste setor (Fig. 2).

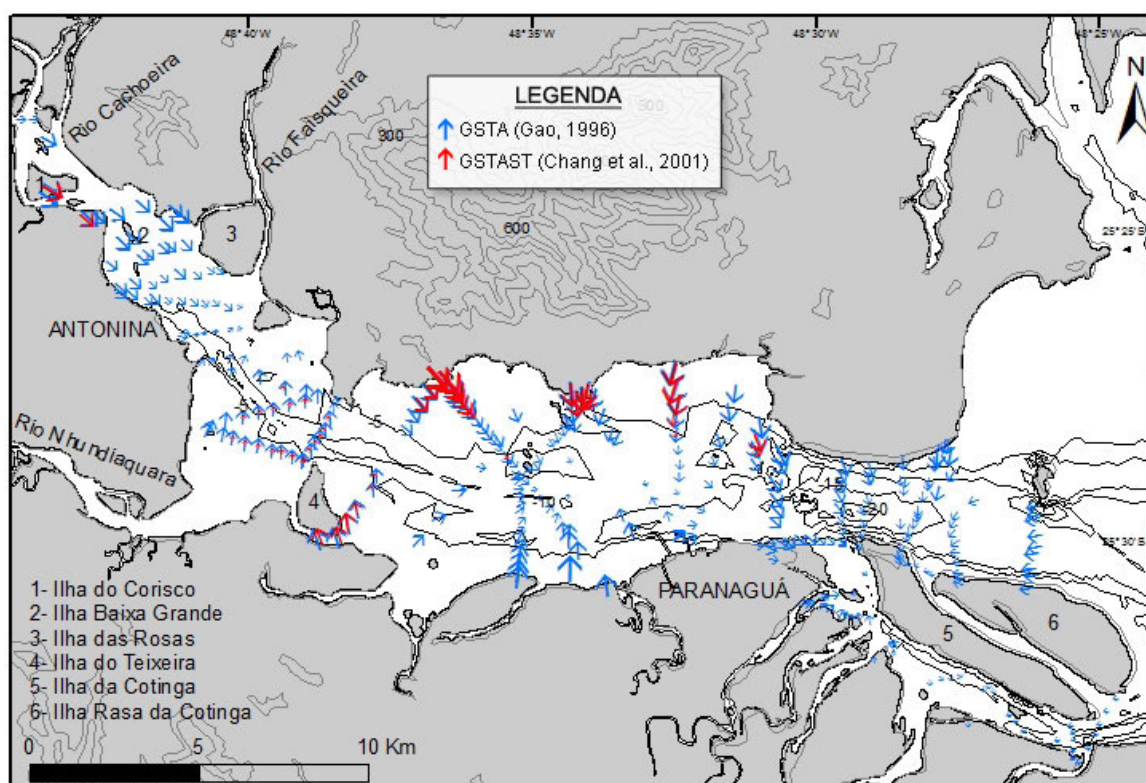


Figura 2 – Tendências de transporte sedimentar do segmento E-W do CEP para o ano de 1966 com as amostras totais, sendo que os vetores em azul indicam resultados do *software* GSTA (Gao, 1996) e os em vermelho do *software* GSTAST (Chang et al, 2001).

No caso das amostras de 1966 separadas por grupos ( fácies sedimentares), no setor de Antonia e da região intermediária, os vetores obtidos pelo GSTA foram semelhantes aos encontrados nas amostras totais. No setor externo, próximo ao canal da Cotinga, o tamanho dos vetores foi maior em direção às áreas profundas quando comparadas as amostras totais, com tendência de sedimentação a partir das bordas. Foram obtidos vetores significativos, pelo GSTAST, somente para o setor intermediário, da margem S em direção ao canal principal dragado (Fig.3).

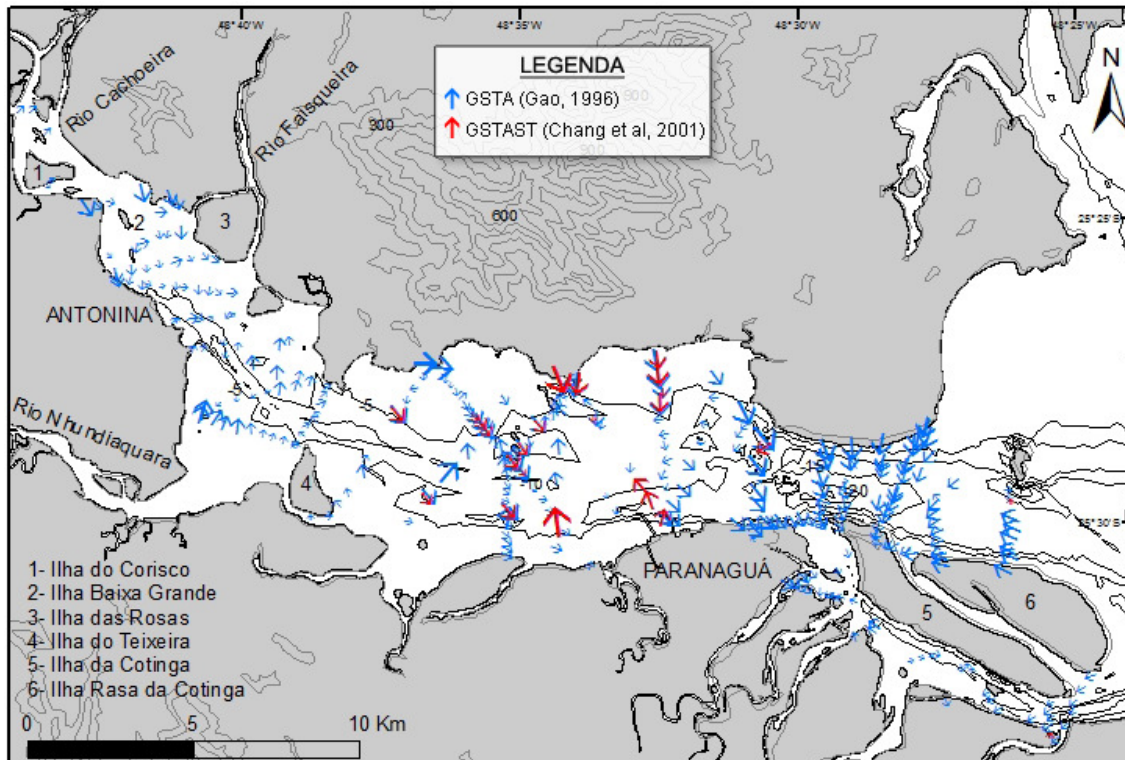


Figura 3 – Tendências de transporte sedimentar do segmento E-W do CEP para o ano de 1966 com os resultados a partir da divisão em grupos ou fácies sedimentares, sendo que os vetores em azul indicam resultados do *software* GSTA (Gao, 1996) e os em vermelho do *software* GSTAST (Chang et al, 2001).

Em 1995, na região de Antonina, para as amostras totais e com a aplicação do GSTA, os rios Cachoeira e Nhundiaquara os vetores também indicaram aporte. Porém, no Nhundiaquara, para ambos os *softwares* aplicados (GSTA e GSTAST) esse aporte em direção a Ilha Ramos e áreas rasas ficou evidenciado. Já os vetores do GSTAST mostram também aporte vindo da margem N, próximo à Ilha do Teixeira. Nas regiões intermediária e externa, os resultados foram similares aos de 1966, com sedimentação das margens em direção ao canal principal e da Cotinga (Fig. 4).



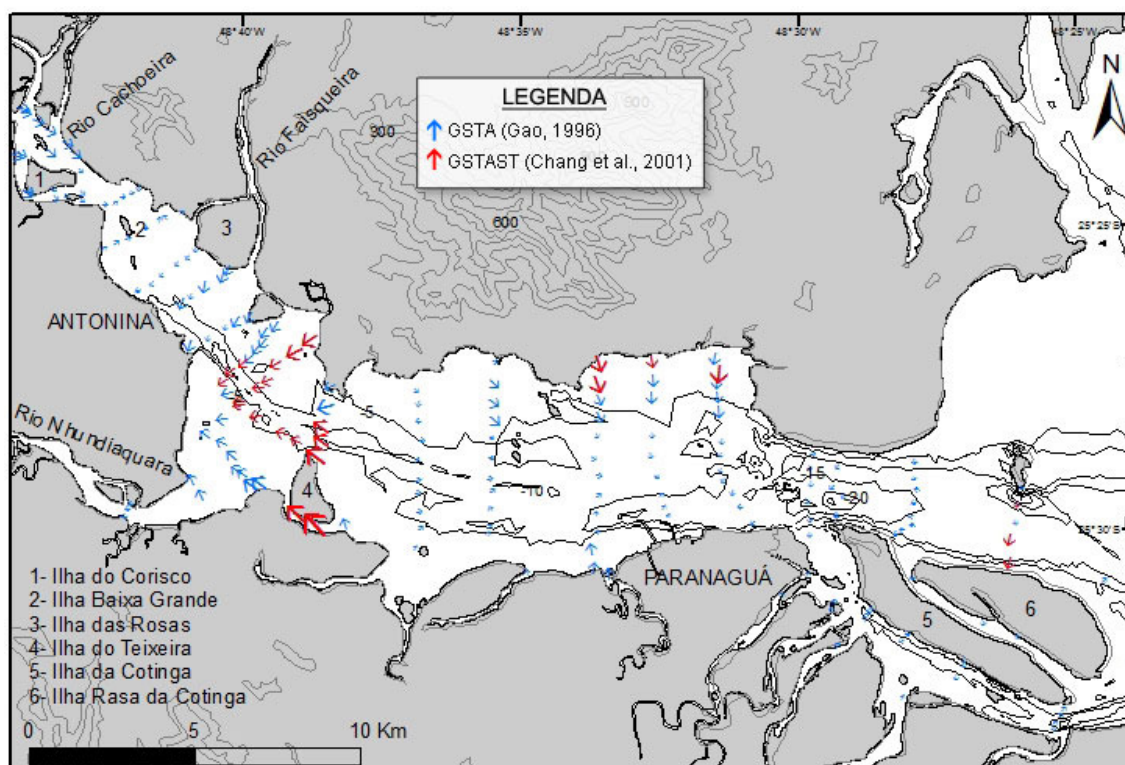


Figura 4 – Tendências de transporte sedimentar do segmento E-W do CEP para o ano de 1995 com as amostras totais, sendo que os vetores em azul indicam resultados do *software* GSTA (Gao, 1996) e os em vermelho do *software* GSTAST (Chang et al, 2001).

Para as amostras de 1995 divididas em grupos, na baía de Antonina, os resultados obtidos pelo GSTA foram similares aos das amostras totais, porém o GSTAST teve apenas um vetor próximo a foz do rio Cachoeira e poucos vetores significativos que evidenciam um aporte da baía de Antonina em direção ao setor intermediário. Com relação a este setor intermediário e ao setor externo de 1995, foi possível observar uma tendência de transporte sedimentar das margens em direção aos canais, sendo que estes vetores das amostras divididas em fácies sedimentares apresentam maiores tamanhos no resultado obtido pelo GSTA, com uma heterogeneidade na região intermediária e próxima a ZMT deste estuário, em Paranaguá (Fig. 5).

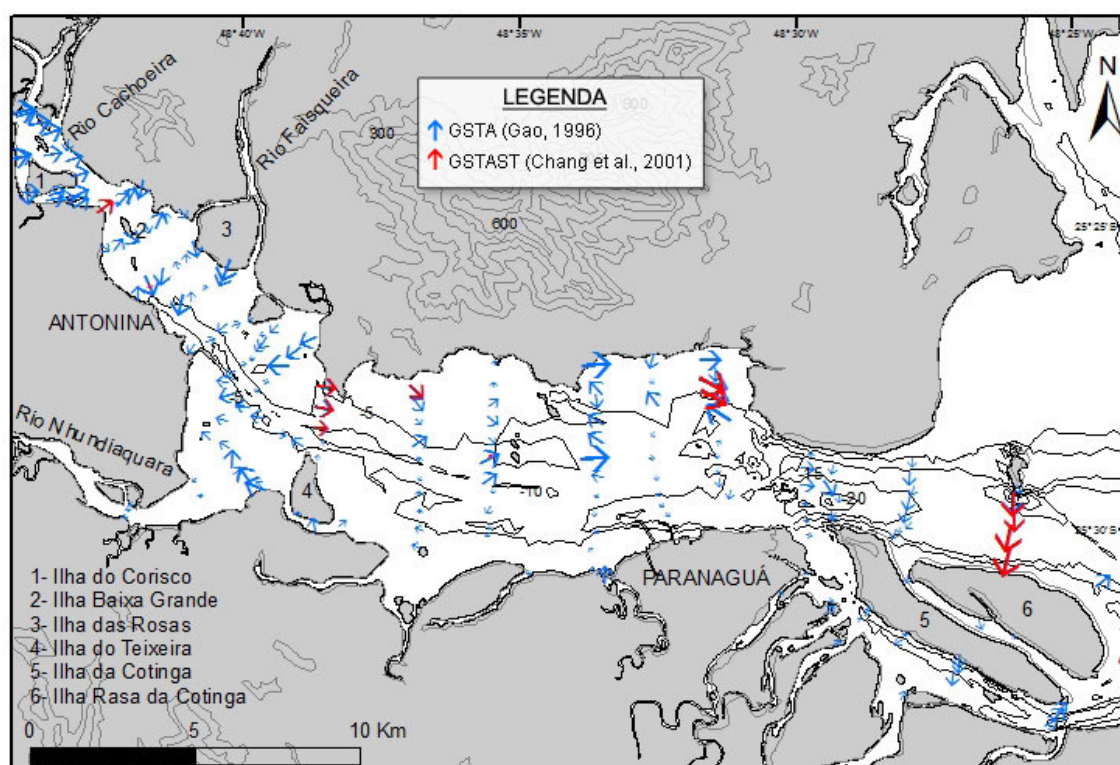


Figura 5 – Tendências de transporte sedimentar do segmento E-W do CEP para o ano de 1995 com os resultados a partir da divisão em grupos ou fácies sedimentares, sendo que os vetores em azul indicam resultados do *software* GSTA (Gao, 1996) e os em vermelho do *software* GSTAST (Chang et al, 2001).

Em 2012, na região de Antonina, para as amostras totais e pelo resultado do GSTA, fica evidente a direção do transporte do rio Cachoeira para a Ilha das Rosas e às áreas rasas, já o GSTAST sugere o aporte de sedimentos do Rio Nhundiaquara em direção a margem N (Fig. 6). Nas regiões intermediária e externa os vetores obtidos pelo GSTA mostram novamente a tendência de transporte das margens em direção aos canais, principalmente na margem S, sendo que em ambas as regiões não houve vetores significativos obtidos com o GSTAST.



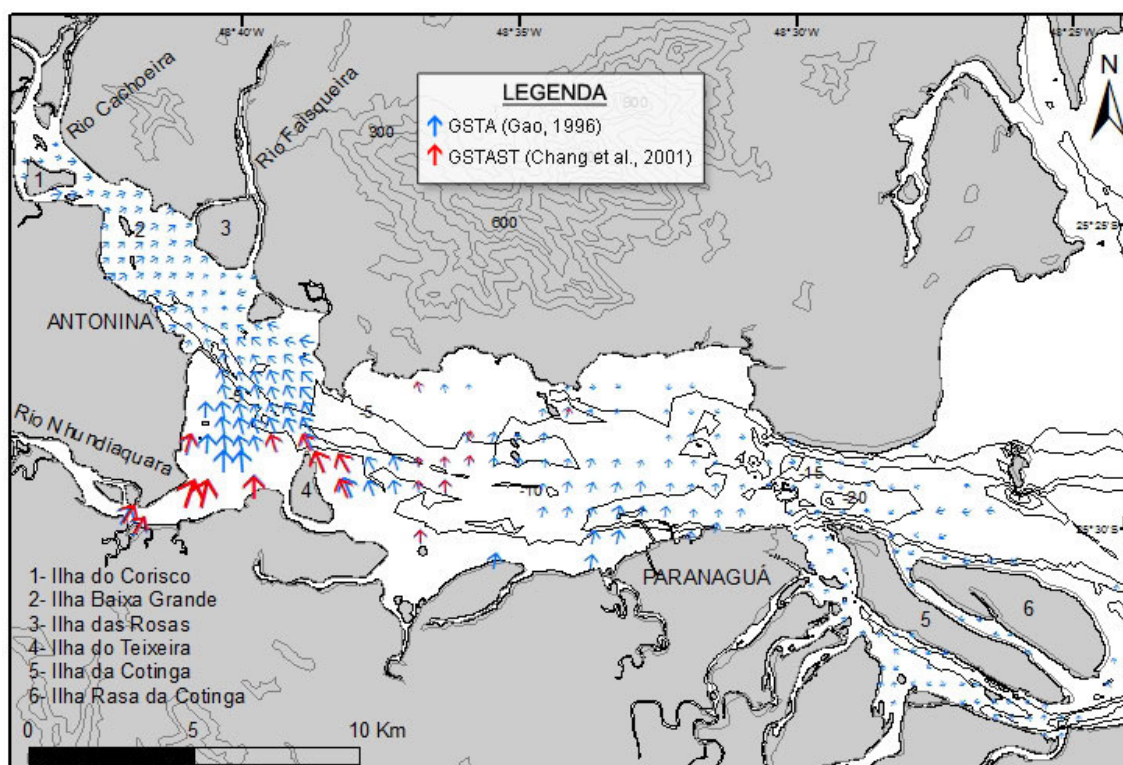


Figura 6 – Tendências de transporte sedimentar do segmento E-W do CEP para o ano de 2012 com as amostras totais, sendo que os vetores em azul indicam resultados do *software* GSTA (Gao, 1996) e os em vermelho do *software* GSTAST (Chang et al, 2001).

Para as amostras divididas por grupos no ano de 2012, foi possível observar direção dos vetores do rio Nhundiaquara para a Ilha das Rosas e a Ilha Baixa Grande, com uma tendência da margem S para a margem N, também no setor intermediário, sendo nesse caso, vetores de maior tamanho que para as amostras totais.

Na região intermediária, não há vetores do GSTAST nem para as amostras totais nem para separadas em grupos (Fig. 7). Com relação ao setor externo, os vetores tendem em direção aos canais, assim como nos conjuntos de dados anteriores, com ambos os *softwares*.

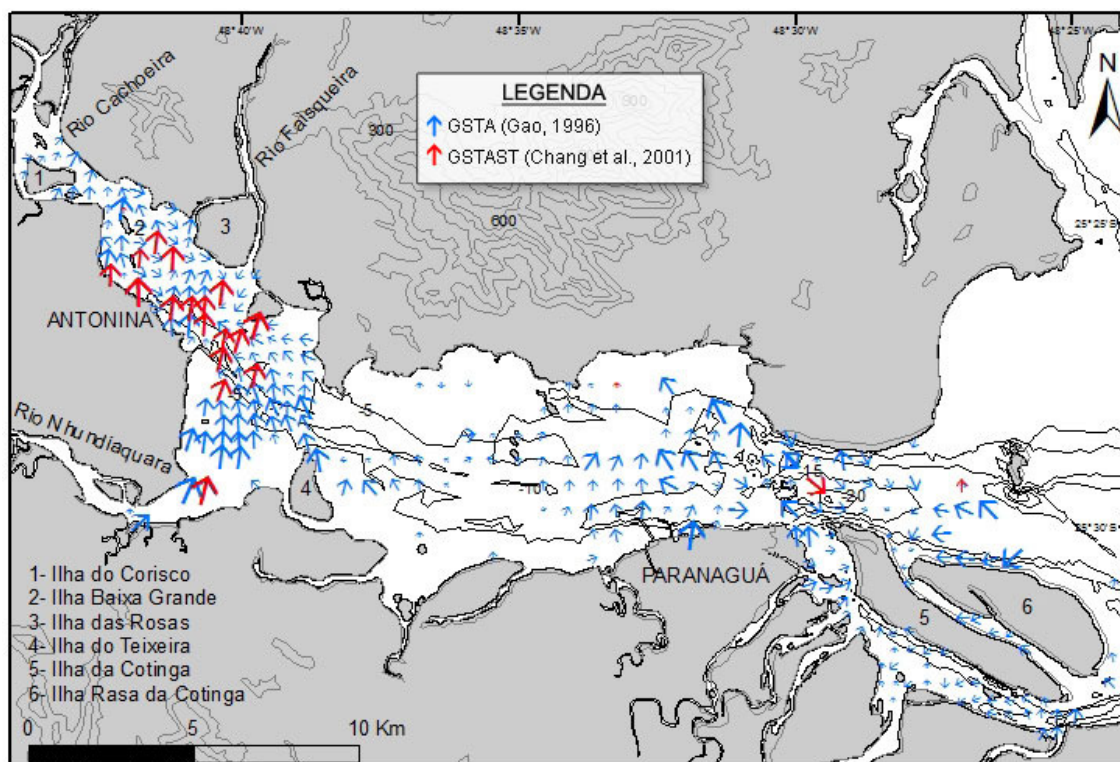


Figura 7 – Tendências de transporte sedimentar do segmento E-W do CEP para o ano de 2012 com os resultados a partir da divisão em grupos ou fácies sedimentares, sendo que os vetores em azul indicam resultados do *software* GSTA (Gao, 1996) e os em vermelho do *software* GSTAST (Chang et al., 2001).

## 5. DISCUSSÃO

A comparação das tendências de transporte sedimentar entre os anos de 1966, 1995 e 2012 mostrou, em geral, na região de Antonina, vetores em direção às áreas rasas, além de aporte sedimentar dos rios Cachoeira e Nhundiaquara. Na região intermediária e ZMT do estuário, em Paranaguá, apresentou uma tendência de transporte sedimentar das margens em direção ao canal principal e dragado, similar ao que ocorre no setor externo, com vetores que indicam tendências de transporte ao canal da Cotinga.

No caso do conjunto de dados de 2012, houve uma tendência deposicional, em oposição ao que foi encontrado por Cattani e Lamour (2013) com evidências geomorfológicas batimétricas que apresentaram tendências erosivas em algumas regiões. Estas diferenças podem estar relacionadas com o método laboratorial de análise granulométrica, sem eliminação dos carbonatos, e podem afetar o diâmetro médio, com

engrossamento das amostras. Desta forma, pode-se inferir que a eliminação de carbonatos deve ser levada em consideração em estudos de tendências de transporte sedimentar que utilizam parâmetros estatísticos granulométricos.

Cattani e Lamour (2013) concluíram também que os sedimentos que advém da margem S e causam assoreamento pela margem N estão relacionados com as mudanças na geometria do estuário, mais especificamente entre as Ilhas do Teixeira e Ponta Grossa, onde o fluxo das correntes de maré é intensificado permitindo o carreamento dos sedimentos. Para os setores de Zona de Máxima Turbidez e Cabeceira do estuário as médias dos volumes das taxas de assoreamento encontrados foram de  $7 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/mês e  $6 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/mês, respectivamente. Por isso, é possível identificar um padrão de preenchimento do estuário dependente da hidrodinâmica local e não só do aporte de sedimentos na cabeceira, já que, além da geometria que intensifica as correntes de maré, o estuário também apresenta declividade suave.

Desta forma, a tendência de preenchimento em longo prazo de estuários de planície costeira é realizada pelo aporte fluvial, com migração das planícies de maré em direção ao centro dos canais (Perillo, 1995). Entretanto, as variações em curto prazo (ciclos anuais) das taxas de sedimentação, podem revelar períodos de erosão em ambientes normalmente sujeitos a deposição e padrões de migração das Zonas de Máxima Turbidez, o que permite a deposição de sedimentos finos em diferentes partes do estuário (McManus, 1998). Nesse sentido, essas variações de curto prazo também podem ter contribuído para as diferenças encontradas entre os vetores de tendências de transporte e as evidências geomorfológicas de Cattani e Lamour (2013) para a região intermediária do estuário.

É fato que as premissas sugeridas pelos autores para a aplicabilidade dos modelos são várias e, conseqüentemente, ambientes cientificamente ideais são difíceis de serem encontrados na natureza (Veiga et al, 2005), assim como a comparação de conjuntos de dados históricos estuarinos tem os agravantes de malhas amostrais, métodos laboratoriais de análises granulométricas e áreas fonte de sedimentos. A tentativa de minimizar essas diferenças entre os conjuntos de dados foi a seleção de amostras espacialmente próximas ao levantamento realizado em 1966 e o teste de método por divisão de fácies sedimentares com o intuito de identificar sedimentos que poderiam ser palimpsestos ou relictos, os quais poderiam afetar as análises das tendências de transporte sedimentar. Como as diferenças entre os vetores com as amostras totais e divididos em fácies não foram evidentes, é possível inferir que no

segmento E-W do CEP, não há janelas estratigráficas passíveis de serem encontradas por esse método de divisão em grupos com características sedimentológicas semelhantes, que possam comprometer a análise de tendências de transporte sedimentar.

Veiga et al. (2005) utilizando os métodos GSTA, GSTAST, encontraram dificuldades na correlação entre as direções de transporte dos sedimentos e a hidrodinâmica local ao analisar os dados referentes à desembocadura sul do CEP. Lamour (2007) afirma que o principal fator de influência destes resultados é denominado efeito de borda, hipótese também levantada por Veiga et al. (2005), porém sem a possibilidade de testar a hipótese. Desta forma, o autor afirma que o maior número de informações laterais, decorrentes de uso de uma malha de amostragem maior elimina o efeito de borda apresentado pelos *softwares* de estabelecimento de tendência de transporte.

Nesse sentido, McLaren (1981) afirma que é necessária cautela na interpretação das tendências quando houver mais de uma fonte de sedimentos, processos coesivos em sedimentos finos ou floculação durante a deposição e se o tamanho dos grãos alterar-se durante o transporte. Por se tratar de um ambiente estuarino que é considerado efêmero no tempo geológico (Dyer, 1995), e área de transição entre o oceano e o continente (Perillo, 1995; Prandle, 2009), ou seja, sujeito a mais de uma área fonte, além de propiciar a deposição de sedimentos finos, principalmente na ZMT próximo a Paranaguá, é necessário se obter uma visão crítica dos resultados encontrados nos vetores de tendência de transporte sedimentar.

Além disso, McLaren (1981) analisa também que somente a distribuição do tamanho dos grãos de um sedimento não pode ser utilizada para determinar com segurança o ambiente de deposição. Desta maneira, os resultados do GSTA e GSTAST trazem informações importantes sobre a dinâmica sedimentar, mas que devem ser avaliadas juntamente com as características dinâmicas, sedimentológicas e geomorfológicas da área a ser estudada.

Outros fatores importantes a serem considerados no segmento E-W do CEP que podem ocasionar diferenças nas características sedimentares e, conseqüentemente, nos vetores de tendências de transporte são as influências antrópicas exercidas nessa região, como a presença de portos e dragagens para manutenção dos canais de acesso, além da construção da usina Parigot de Souza com a transposição do Rio Capivari-Cachoeira.

As dragagens periódicas para manutenção e aprofundamento do canal de acesso aos portos, podem ocasionar mudanças na dinâmica local, circulação, e

consequentemente nas formas de fundo e nas tendências de transporte dos sedimentos, de erosão e deposição já que ocorre um aumento da seção, diminuindo as correntes por atrito nas proximidades, e esses locais podem funcionar como armadilha de sedimentos provocando assoreamento, como foi observado na região de ZMT, com tendência deposicional.

Os resultados das simulações do programa Contaminantes, Assoreamento e Dragagem (CAD) realizados no estuário de Paranaguá (Boldrini, 2007), demonstraram que o cenário de fortes chuvas se equiparou com o cenário da presença do rio Capivari no rio Cachoeira. Significa dizer que o impacto da vazão do rio Capivari no rio Cachoeira aumentou 50% deste em transportar sedimentos para a Baía de Antonina não apenas em períodos de chuvas, mas todo o ano, pois 50% é a média da vazão do canal de fuga.. Como a Bacia do Rio Cachoeira é uma das principais bacias de drenagem de Antonina, o aumento da vazão e a erosão às suas margens aumentam o seu potencial de transportar sedimentos e contribuir com o próprio assoreamento e também da Baía de Antonina (Bandeira, 2007), influenciando também as características sedimentares do segmento E-W do CEP em geral e as tendências de transporte sedimentar.

Um dos resultados relevantes obtidos pelo CAD (Boldrini, 2007) evidenciou que o aporte de sedimentos do Rio Nhundiaquara contribui de forma significativa ao assoreamento dos berços do Terminal Portuário da Ponta do Félix, localizado em Antonina. A partir dos resultados deste trabalho, acredita-se que um evento pluviométrico sem precedentes, ocorrido em 11/03/2011 na bacia do Rio Jacareí (área de 40,17 km<sup>2</sup>), que deságua próximo à foz do Rio Nhundiaquara, culminando com conjunto de escorregamentos nas vertentes da Serra da Prata, associado a um elevado volume de chuva na região, cujos valores acumulados de precipitação foram de 230 mm em 24 horas, 305 mm em 48 horas e 382 mm em 72 horas, segundo dados da Estação Meteorológica Morretes (INMET, 2011), possa ter intensificado esse processo.

## **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Angulo, R. J. 1999. Morphological characterization of the tidal deltas on the coast of the state of Paraná. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 71:935-959.

443 Angulo, R. J. e Araújo, A. D. 1996. Classificação da costa paranaense com base na sua  
 444 dinâmica como subsídio à ocupação da orla litorânea. Boletim Paranaense de  
 445 Geociências, 44:7-17.

446

447 Bandeira, V. P. S. 2007. Licenciamento ambiental e a categoria de totalidade: um estudo  
 448 de caso. In: Boldrini, E. B.; Soares, C. R., Paula, E. V. (Org). Dragagens Portuárias no  
 449 Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental. Antonina:  
 450 ADEMADAN/UNIBEM/SEMA/Governo do Estado do Paraná, p 232-243.

451

452 Bigarella, J. J., Becker, R. D.; Matos, D. J.; Werner, A. 1978. A Serra do Mar e a  
 453 Porção Oriental do Estado do Paraná. Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento,  
 454 Governo do Paraná.

455

456 Boldrini, E. B. 2007. Programa CAD: Contaminantes, Assoreamento e Dragagem no  
 457 estuário de Paranaguá. In: Boldrini, E. B; Soares, C. R; Paula, E. V. (Org). Dragagens  
 458 Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental. Antonina:  
 459 ADEMADAN/UNIBEM/SEMA/Governo do Estado do Paraná, p 144-154.

460

461 Carneiro, J. C.; Faller, D. G.; Lamour, M. R. Evolução sedimentar ao longo do  
 462 segmento E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá, sul do Brasil. Em preparação.

463

464 Carrilho, J. C. 2003. Dinâmica sedimentar do fundo adjacente ao Porto de Paranaguá.  
 465 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra,  
 466 Programa de Pós-Graduação em Geologia. Defesa, Curitiba.

467

468 Cattani, P. E. e Lamour, M. R. 2013. Considerations regarding the sedimentation rates  
 469 along the Paranaguá Estuarine Complex: a bathymetric, submetido.

470

471 Chang, Y. H.; Scrimshaw, M. D.; Lester, J. N. 2001. A revised grain-size trend analysis  
 472 program to define net sediment transport pathways. Computers & Geosciences. v. 27. p.  
 473 109-114.

474

475 Coimbra, A. M.; Furtado, V. V.; Tessler, M. G.; Yamamoto, M. F.; Todeschini, E.  
 476 1980. Dispersão dos Sedimentos de Superfície de Fundo na Plataforma Continental

477 Interna do Estado de São Paulo – Santos à Ilha Grande. In: Congresso Brasileiro de  
 478 Geologia, 31, Balneário Camboriú, SBG, Anais 1:557-567.

479

480 Dadalto, T. P e Albino, J. 2009. Análise morfofototextural e aplicação de modelos de  
 481 transporte de sedimentos na zona submersa adjacente a uma praia artificial em processo  
 482 erosivo. *Quaternary and Environmental Geosciences* 01(1):16-24.

483

484 Dyer, K. R. 1995. Sediment transport processes in estuaries. In: PERILLO, G.M.E.  
 485 (ed.). *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Developments in*  
 486 *Sedimentology*, n. 53. Elsevier, p. 423-449.

487

488 Folk, R. L. e Ward, W. C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain  
 489 size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27:3-26.

490

491 Gao, S. 1996. A Fortran program for grain-size trend analysis to define net sediment  
 492 transport pathways. *Computers & Geosciences*. v. 22, n. 4. p. 449-452.

493

494 Gao, S. e Collins, M. 1991. A critique of the “MacLaren method” for defining sediment  
 495 transport path – Discussion. *Journal of Sediment Petrology*. v. 61, n. 1. p. 143-146.

496

497 Gao, S. e Collins, M. 1992. Net sediment transport pattern inferred from grain-size  
 498 trends, based upon definition of “transport vectors”. *Sedimentology Geology*. n. 80. p.  
 499 47-60.

500

501 Grunn, N. M. e Ruessink, B.G. 2005. Morphodynamic response of nearshore bars to a  
 502 shoreface nourishment. *Coastal Engineering*, 52:119-137.

503

504 INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). 2011. Disponível em  
 505 <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em novembro de 2012.

506

507 Lamour, M. R. 2000. Dinâmica Sedimentar do Canal da Galheta, Via de Acesso ao  
 508 Porto de Paranaguá – PR. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de  
 509 Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

510 Lamour, M. R. 2007. Morfodinâmica Sedimentar da Desembocadura do Complexo  
 511 Estuarino de Paranaguá – PR. 162 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Setor de Ciências  
 512 da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.  
 513

514 Lamour, M. R.; Soares, C. R.; Carrilho, J. C. 2004. Mapas dos parâmetros texturais dos  
 515 sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá – Pr. Boletim Paranaense de  
 516 Geociências. Curitiba, v. 55, p. 77-82.  
 517

518 Lamour, M. R.; Angulo, R. J.; Soares, C. R. 2007. Bathymetrical Evolution of Critical  
 519 Shoaling Sectors on Galheta Channel, Navigable Access to Paranaguá Bay, Brazil.  
 520 Journal of Coastal Research. Florida, v. 23, n. 1, p. 49-58.  
 521

522 Lamour, M. R.; Soares, C. R. 2007. Histórico das Atividades de dragagens e Taxas de  
 523 Assoreamento nos canais de navegação ao portos costeiros paranaenses. In: Boldrini, E.  
 524 B; Soares, C. R; Paula, E. V. (Org). Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e  
 525 Monitoramento Ambiental. Antonina: ADEMADAN/UNIBEM/SEMA/Governo do  
 526 Estado do Paraná, p 232-243.  
 527

528 Le Roux, J. P. 1994a. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends,  
 529 based upon definition of “transport vectors” – comment. Sedimentology Geology. v.90.  
 530 p. 153-156.  
 531

532 Le Roux, J. P. 1994b. A spreadsheet template for determining sediment transport  
 533 vectors from grain-size parameters. Computers&Geosciences. v. 20, n. 3. p. 433-440.  
 534

535 Lessa, G. C; Meyers, S. R.; Marone, E. 1998. Holocene Stratigraphy in the Paranaguá  
 536 bay estuary, southern Brazil. Journal of Sedimentary Research. V.68 n 6. p. 1060-1076.  
 537

538 Liu, J. T. e Hou, L. 1997. Sediment trapping and bypassing characteristics of a stable  
 539 tidal inlet at Kaohsiung Harbor, Taiwan. Marine Geology. v. 140. p. 367-390.  
 540

541 MacLaren, P. 1981. An interpretation of trends in grain size measures .Journal of  
 542 Sediment. Petrology. v. 51, n. 2. p 611-624.



543 MacLaren, P. e Bowles, D. 1985. The effects of sediment transport on grain-size  
544 distributions .Journal of Sedimentology Petrology. v.55, n. 4. p. 457-470.  
545

546 Mantovanelli. A. 1999. Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em  
547 suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem. Curitiba, 152 f.  
548 Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra,  
549 Universidade Federal do Paraná.  
550

551 Mantovanelli, A.; Marone, E.; Silva, E. T.; Lautert, L .F. C.; Klingenfuss, M. S.; Prata  
552 JR, V. P.; Noernberg, M. A.; Knoppers, B.A; Angulo, R. J. 2004. Combined tidal  
553 velocity and duration asymmetries as a determinant of water transport and residual flow  
554 in Paranaguá Bay Estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 59:523-537.  
555

556 Marone, E. e Jamiyanaa, D. 1997. Tidal characteristics and a numerical model for the  
557 M2 tide at the Estuarine Complex of Paranaguá Bay, Paraná, Brazil. Nerítica, Curitiba,  
558 v.11, p. 95-107.  
559

560 McCave, I. N. 1978. Grain size trends and transport along beaches: an example from  
561 eastern England. Marine Geology, v. 28:M43-M51.  
562

563 McManus, J. 1998. Temporal and Spatial Variations in Estuarine Sedimentation.  
564 Estuaries, 21(4), 622-634.  
565

566 Noernberg, M. A. 2001. Processos Morfodinâmicos no complexo Estuarino de  
567 Paranaguá, Paraná, Brasil: Um estudo a Partir de Dados *in situ* e LANDSAT – TM.  
568 Tese (doutorado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do  
569 Paraná, Curitiba.  
570

571 Noernberg, M. A. e Lana, P. C. 2002. A sensibilidade de manguezais e marismas a  
572 impactos por óleo: fato ou mito? Uma ferramenta para a avaliação da vulnerabilidade de  
573 sistemas costeiros a derrames de óleo. Geografares (Vitória), Vitória, v. 3, p. 109-122.  
574

575 Odreski, L. L.; Soares, C. R.; Angulo, R. J.; Zem, R. C. 2003. Taxas de assoreamento e  
576 a influência antrópica no controle da sedimentação da baía de Antonina – Paraná.  
577 Boletim Paranaense de Geociências, v.53 p. 7-12.  
578

579 Paula, E. V. de e Cunico, C. 2007. O assoreamento das baías de Antonina e de  
580 Paranaguá e a gestão de suas bacias hidrográficas. In: Boldrini, E. B.; Soares, C. R.;  
581 Paula, E. V. de. Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento  
582 Ambiental. Antonina: Governo do Estado do Paraná, SEMA/PR, ADEMADAM,  
583 UNIBEM, p.154-168.  
584

585 Pedreros, R.; Howa, H. L.; Michel, D. 1996. Application of grain size trend analysis for  
586 the determination of sediment transport pathways in intertidal areas. Marine Geology,  
587 135: 35-49.  
588

589 Perillo, G. M. E. 1995. Geomorphology and sedimentology of Estuaries: na  
590 introduction. In Perillo, G. M. E (Ed.). Geomorphology and sedimentology of Estuaries.  
591 The Netherlands: Elsevier Science B.V. p 1-16.  
592

593 Perillo, G. M. E. 1995. Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries. In  
594 Perillo, G. M. E. (Ed.). Geomorphology and sedimentology of Estuaries. The  
595 Netherlands: Elsevier Science B.V. p 17-47.  
596

597 Petrobrás. 1997. Estudos ambientais em áreas oceânicas e costeiras no sul do Brasil.  
598 CD-ROM.  
599

600 Pettijohn, F. J., Potter, P. E.; Siever, R. 1972. Sand and sandstone: New York, Springer-  
601 Verlag, 618 p.  
602

603 Prandle, D. 2009. Estuaries: Dynamics, Mixing, Sedimentation and Morphology.  
604 University of Wales. Cambridge. New York. 248p.  
605

606 Soares, C. R.; Lamour, M. R. 2008. Atividades portuárias na Baía de Paranaguá (PR):  
607 Histórico e características de navegação, canais de acesso, berços de atracação, bacia de  
608 evolução e áreas de fundeio. In: Boldrini, E. B; Soares, C. R; Paula, E. V. (Org).

609 Dragagens Portuárias no Brasil: Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente. Antonina:  
610 ADEMADAN/UNIBEM/Secretaria de Ciência e tecnologia para Inclusão social. p.26-  
611 45.  
612  
613 Veiga, F. A.; Angulo, R. J.; Marone, E.; Brandini, F. P.; Soares, C. R. 2005. Padrões de  
614 transporte de sedimentos baseado em três programas geradores de vetores de tendências  
615 de transporte a partir de parâmetros granulométricos na porção sul do delta de  
616 desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá – Sul do Brasil. Boletim  
617 Paranaense de Geociências, n. 57, p. 75-87, Editora UFPR.  
618  
619 Zem, R. C. 2008. Hidrodinâmica e fluxo de Material Particulado em Suspensão na  
620 região estuarina da Baía de Paranaguá-PR. 155 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e  
621 Geofísica Marinha) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense,  
622 Niterói.